Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

O Ciclo Urbano da Água – Uma Abordagem Pedagógica

Dissertação de Mestrado em

Física e Química para o Ensino

Cátia Sofia Ferreira Carneiro

Vila Real, 2007

O Ciclo Urbano da Água – Uma Abordagem Pedagógica

Cátia Sofia Ferreira Carneiro

(Licenciada)

Dissertação submetida à Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro
para obtenção do grau de Mestre em Física e Química para o Ensino

Orientador:

Prof. Doutor José Alcides Silvestre Peres

Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro
2007

Existe uma coisa que uma longa existência me ensinou: toda a nossa ciência, comparada à realidade, é primitiva e inocente; e portanto, é o que temos de mais valioso.

Albert Einsten

🗐 ÍNDICE

AGRADECIMENTOS

Este espaço é dedicado àqueles que deram o seu contributo para que esta dissertação fosse realizada. A todos eles deixo aqui o meu agradecimento sincero.

Em primeiro lugar agradeço ao Professor Doutor José Alcides Peres a forma como orientou o meu trabalho. Estou grata pelas notas dominantes da sua orientação, a utilidade das suas recomendações e a cordialidade com que sempre me recebeu. Agradeço também pela liberdade de acção que me permitiu, que foi decisiva para que este trabalho contribuísse para o meu desenvolvimento pessoal. O meu profundo agradecimento pela sua orientação técnica e científica, cujas ideias e sugestões foram inestimáveis para a realização desta dissertação, que muito me enriqueceu. Manifesto o meu sincero apreço pelos conselhos, comentários e estímulos recebidos, bem como a sua paciência e dedicação.

Um agradecimento especial à Presidente (Dr.ª Maria João Alves) e ao Vice-Presidente (Dr. Jorge Alves) do Conselho Executivo da Escola EB2,3/S Dr. João de Brito Camacho (Almodôvar), por me terem disponibilizado as instalações laboratoriais e todos os recursos indispensáveis para a execução prática deste trabalho.

Agradeço a todos os colegas da Escola EB2,3/S Dr. João de Brito Camacho (Almodôvar), em especial, à Professora Maria Augusta, Professora Alice e Professora Salomé, pela paciência que tiveram comigo e que, das mais variadas maneiras, contribuíram para o desenvolvimento desta dissertação.

À Andreia e à Carla, professoras da Escola Internacional do Algarve, pela amizade, disponibilidade e ajuda imprescindível na realização desta dissertação.

À Engenheira Isabel da ETAR de Lamego pela sua simpatia, apoio e pela informação que me facultou.

À Engenheira Elisabeta Moreiras da ETAR de Vila Real, da empresa Águas de Trás-os-Montes e Alto Douro, pela sua ajuda, disponibilidade e cedência de bibliografia que muito útil se revelou para a realização deste trabalho.

A todos os técnicos das ETAR de Tarouca, Lamego e Vila Real, pertencentes à empresa Águas de Trás-os-Montes e Alto Douro, e das ETA do Vilar, Monte Novo e Tavira, pela cedência de informações técnicas.

São também dignos de uma nota de apreço as colegas de Mestrado, em especial a Ana e a Arlete pela sua amizade, incentivo e ajuda.

Agradeço também ao Professor Doutor José Paulo Cravino pela sua paciência, pela disponibilidade sempre demonstrada e amizade em todos os momentos cruciais desta dissertação.

Aos amigos que nunca me abandonaram e me deram incentivo para escrever esta dissertação, em especial ao Lino Oliveira pela sua dedicação e apoio.

Aos meus pais e irmã, pela amizade, pelo apoio fundamental, incentivo e compreensão dispensados ao longo de toda a dissertação.

A todos o meu **muito obrigado**!

RESUMO

A importância da água no quotidiano da nossa sociedade é cada vez mais relevante. Até há bem pouco tempo não era dado grande destaque à má utilização, aos múltiplos factores de poluição e ao desperdício de um dos mais importantes suportes da vida humana. Vários motivos têm alterado a mentalidade social e são cada vez mais comuns os alertas para um melhor (re)aproveitamento da água e para o tratamento adequado de águas residuais.

O objectivo desta dissertação centra-se nas medidas e acções que visam a conservação da água e a sua correcta utilização. Sensibilizar os alunos, do 3º Ciclo do Ensino Básico ao Ensino Secundário e a comunidade em geral, para a preservação da qualidade da água, problemas que a todos directa ou indirectamente atinge é um dos objectivos referenciados.

Neste trabalho apresenta-se um pouco da história da água. Descrevem-se sumariamente a procura, o transporte e a utilização da água desde as primeiras civilizações até aos dias de hoje.

Apresentam-se e explicam-se o *Ciclo Natural da Água,* envolvendo as etapas de evaporação, condensação e precipitação que ocorrem à superfície do nosso planeta e o “novo” *Ciclo Urbano da Água*.

Adquirir conhecimentos sobre as diferentes fases do *Ciclo Urbano da Água* e perceber a importância da preservação dos recursos hídricos são alguns propósitos referidos ao longo deste trabalho. A explicação do *Ciclo Urbano da Água*, em contexto de sala de aula, torna-se fundamental para sensibilizar os alunos para a importância da água, bem como todas as etapas de natureza física, química e biológica envolvidas.

O processo desde a captação até à distribuição pelas nossas casas requer vários tratamentos sucessivos realizados numa Estação de Tratamento de Água (ETA). Todos os processos efectuados nestas unidades encontram-se descritos e pretendem elucidar os alunos de todo o procedimento que a água requer até que a consumimos.

Torna-se importante também alertar para o que acontece à água depois de utilizada. Para tal, o tratamento de esgotos em Estações de Tratamento de Águas Residuais (ETAR) é outro dos destaques desta dissertação. Há necessidade de se proceder ao tratamento das águas residuais, de forma a

assegurar a qualidade dos meios receptores e a dar cumprimento aos requisitos legais.

O tema *Ciclo Urbano da Água* não é retratado no programa curricular da disciplina de Física e Química, no 3º Ciclo e no Secundário. Neste trabalho foram desenvolvidos protocolos experimentais e simuladas experiências laboratoriais que poderão ser recriadas para alunos, e com alunos. Por se inserir no *Mestrado de Física e Química para o Ensino* tem-se como objectivo pedagógico auxiliar os alunos na compreensão e reflexão deste assunto, bem como ajudá-los a adquirem um conjunto de saberes essenciais.

Palavras-chave: ciclo urbano da água, história da água, tratamento de água para consumo humano, tratamento de águas residuais, trabalhos práticos sobre água.

ABSTRACT

The importance of water in our society's day to day life is becoming increasingly relevant. Not a long time ago much concern wasn't given to bad usage, multiple pollution factors, and the waste of one of the most important pillars of human existence. Several reasons have altered society's way of thinking and the warnings for a better (re)use of water and the adequate treatment of residual waters are becoming increasingly common.

The objective of this dissertation is centered around the measures and activities intended for the conservation of water and its correct usage. One of its aims is to make basic and secondary level students and the whole community aware of the importance of preserving water quality, something that in one way or another affects us all.

A brief history of water is presented in this dissertation, including the search for, transport, and usage of water since the beginning of civilization to our days.

The *Natural Water Cycle* is presented and explained, involving the stages of evaporation, condensation, and precipitation that occur on the surface of our planet. The "new" *Urban Water Cycle* is also explained.

To acquire knowledge about the different stages of the *Urban Water Cycle* and to understand the importance of the preservation of the water resources are some of the goals referred throughout this work. The explanation of the *Urban Water Cycle* in a classroom context becomes fundamental to sensitize the students to the importance of water, as well as to all biological, chemical, and physical stages involved.

The process, from the collection to the distribution to our houses, requires several successive treatments carried out in Water Treatment Plants (ETA). All the procedures conducted in these units are described and intend to make clear to the students all the procedures the water requires until it is consumed by us.

It is also important to make students aware of what happens to the water after it is used. Consequently, the processing of waste water in Wastewater Treatment Plants (ETAR) is another of the highlights of this dissertation. There's a need to treat the sewage so as to protect the environment and respect the legal requirements.

The theme *Urban Water Cycle* is not dealt with in the curricular programs of either the basic or the secondary level Physics and Chemistry courses. In this work, experimental protocols were developed and laboratorial experiments, which may be recreated for and with students, were simulated. Since it has been written as part of the *Masters of Physics and Chemistry for the Education*, the pedagogical aim of this work is to help students to understand this subject and make them think about it, as well as help them acquire some basic knowledge.

Keywords: urban water cycle, water history, treating water for human consumption, treatment of residual waters, practical works on water.

ABREVIATURAS

a.C.	antes de Cristo
CBO	Carência Bioquímica de Oxigénio
CEE	Comunidade Económica Europeia
CF	Coliformes Fecais
CQO	Carência Química de Oxigénio
COT	Carbono Orgânico Total
COV	Compostos Orgânicos Voláteis
CT	Coliformes Totais
CTO	Carência Teórica em Oxigénio
d.C.	depois de Cristo
DL	Decreto-Lei
ETA	Estação de Tratamento de Água
ETAR	Estação de Tratamento de Águas Residuais
LM	Licor Misto
MS	Matéria Seca
NTU	Unidades Nefelométricas de Turvação
OD	Oxigénio Dissolvido
PAH's	Hidrocarbonetos aromáticos policíclicos
PCB's	Bifenilos policlorados
SDT	Sólidos Dissolvidos Totais
SS	Sólidos Suspensos
SST	Sólidos Suspensos Totais
SSV	Sólidos Suspensos Voláteis
THM	Trihalometanos
U.S.	Unidades Sorensen
UV	Ultravioleta
VLE	Valor Limite de Emissão

ÍNDICE DE FIGURAS

Pág.

ÍNDICE DE TABELAS

1

HISTÓRIA DA ÁGUA

1.1. Generalidades

O que é a água?

A água é uma substância líquida incolor, inodora e insípida, essencial a todas as formas de vida, constituída por hidrogénio e oxigénio.

A água é um composto abundante na Terra, cobrindo cerca de ¾ da superfície do planeta, encontrando-se principalmente nos oceanos e calotes polares, mas também noutros locais sob a forma de nuvens, água da chuva, rios, aquíferos ou gelo. A fórmula química da água é H_2O (ou seja um átomo de oxigénio e dois átomos de hidrogénio), como se pode verificar pela estrutura apresentada na figura 1.1:

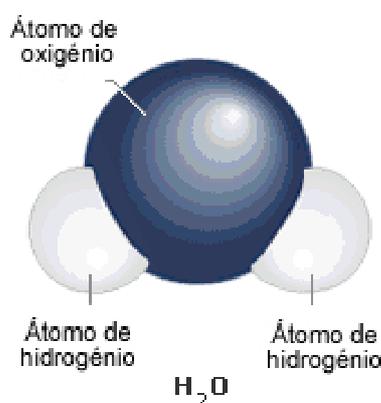



Figura 1.1: Estrutura química da água.[1]

A água, tal como o Sol, é praticamente inseparável da vida na Terra. Os conhecimentos de biologia permitem afirmar, com pequena margem de incerteza, que a vida se originou primitivamente na água. Em virtude da sua abundância e grande dispersão, a água é, por vezes, considerada como um

[1] Imagem retirada de: http://portal.huascaran.edu.pe/estudiantes/imgs/img3_21-03-06.jpg (Portal Educativo Huascarán).

líquido inerte, destinado a preencher os espaços dos seres vivos. Contudo, a água é uma das substâncias mais importantes, por ser indispensável aos seres vivos, com propriedades pouco comuns que a diferenciam da maioria dos outros líquidos.

A água e os produtos da sua ionização, iões hidrogénio (H^+) e hidróxido (HO^-), são factores imprescindíveis na determinação da estrutura e das propriedades biológicas de todos os componentes celulares. A água é o mais importante dos constituintes dos organismos vivos, pois cerca de 50% a 90% da biomassa é constituída por água. O seu papel nas funções biológicas é extremamente importante e diversificado, sendo necessária, por exemplo, para o transporte de nutrientes e dos produtos da respiração celular e para a decomposição da matéria orgânica que liberta a energia necessária para o metabolismo.

A água possui pontos de fusão, de ebulição e uma tensão superficial com valores superiores aos dos outros líquidos que contêm, nas suas moléculas, também átomos de hidrogénio (como o H_2S e o NH_3) e que a maior parte dos líquidos comuns. Pelo seu poder ionizante, a água é um bom solvente. Muitos sais dissolvem-se com facilidade na água, assim como substâncias não iónicas como os açúcares, álcoois, aldeídos e cetonas.

Para consumo humano a água deve apresentar as seguintes características quantitativas: ter o pH entre 5,0 e 8,5; a concentração de nitratos não ultrapassar 1,5 mg/L; o teor de cloretos não ultrapassar os 150 mg/L; a matéria oxidante não apresentar uma concentração (expressa em oxigénio) superior a 2,0 mg/L; o resíduo seco não ultrapassar os 100 mg/L; e não ter presentes bactérias patogénicas.

1.2. Breve história do consumo da água

A importância da água é visível ao longo da História…

“Na Antiguidade, a água, por ser um dos elementos vitais para todas as sociedades, era revestida por um vasto conteúdo simbólico, demonstrando a sua importância na organização das primeiras civilizações situadas nas bacias de grandes rios e nas costas mediterrâneas. O elemento *aqua* sempre foi inspirador de indagações e motivo de veneração em diferentes culturas antigas” (Alves, 2005).

Na visão mitológica, a água, da qual o oceano é sem dúvida o seu maior símbolo, traz consigo as sementes da vida, os segredos e os fermentos das suas múltiplas formas, além dos medos que às vezes são evocados pelas figuras míticas dela oriundas. Schama (1996), acrescenta que:

> "…ver um rio equivale a mergulhar numa grande corrente de mitos e lembranças, forte o bastante para nos levar ao primeiro elemento aquático da nossa existência intra-uterina. E, com essa torrente, nasceram algumas das nossas paixões sociais e animais mais intensas: as misteriosas transmutações do sangue e da água; a vitalidade e a mortalidade de heróis, impérios, nações e deuses [...] Desde a Antiguidade, comparava-se o [...] fluxo [dos rios] à circulação do sangue pelo corpo".

Apesar dos apelos mágico-religiosos, o Homem deparou-se com situações e desafios concretos, os quais necessitava de enfrentar. Desde a génese da história das civilizações, o domínio da água era perseguido, sendo limitado ao desenvolvimento de técnicas, como por exemplo, de irrigação, de canalizações (exteriores ou subterrâneas), de construção de represas, entre outras.

O Homem primitivo facilmente terá reconhecido a sua forte dependência da água: primeiramente, para lhe saciar a sede e, depois, para a utilizar na manufactura de produtos, utensílios e construções que lhe eram essenciais. Sentiu também como o ambiente lhe poderia ser adverso em consequência de secas ou de inundações devastadoras. Não estando apto a aprofundar os conhecimentos sobre aqueles fenómenos, cedo terá passado a associar a água ao sobrenatural.

As primeiras civilizações surgiram nos vales dos grandes rios: vale do Nilo no Egipto, vale do Tigre e Eufrates na Mesopotâmia, vale do Indo no Paquistão e vale do rio Amarelo na China.

A procura de água, através da escavação manual de poços, tornou-se ao longo dos tempos o facto mais importante. No livro Génesis da Bíblia Sagrada encontram-se as referências primordiais da procura de água. Os registos arqueológicos mostram que a tecnologia de construção de poços de água alcançou um alto grau de sofisticação, muitos milhares de anos antes da Era

Cristã. Pinturas pré-históricas da época de 8000 a.C. já sugerem a captação de água por poços. Na região do rio Eufrates, em 2300 a.C., foram construídos canais que levavam água para diversas regiões.

Nas Sociedades Primitivas, as populações estabeleciam-se em planícies junto aos rios em busca de água, alimentos e defesas naturais. A água era usada para rega e para a agricultura que naquela época era o principal factor de desenvolvimento. As populações que habitavam em regiões onde os rios não tinham água abundante obtinham este líquido precioso à custa de grandes esforços.

As primeiras concepções científicas e filosóficas relacionadas com a água remontam a 3000 a.C. Documentos em sânscrito aconselhavam que se armazenasse a água em vasos de cobre expondo-os posteriormente ao Sol. Para filtrar a água normalmente usava-se o carvão, ou por vezes areia e cascalho. Nessa altura já se obtinha habitualmente água doce a partir de poços, utilizando-se um balde (ou reservatório de madeira), figura 1.2.

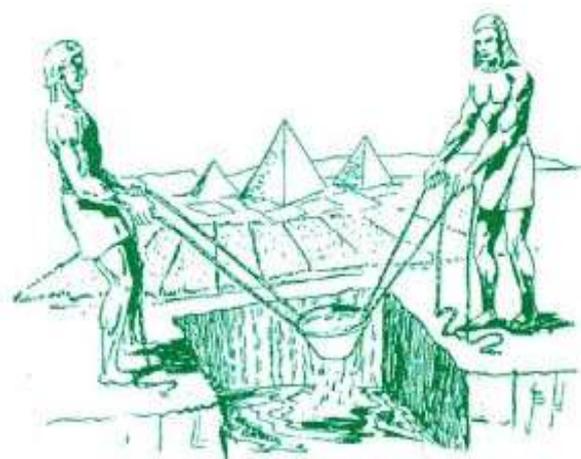



Figura 1.2: Poço.[2]

Em 2500 a.C. a cegonha (figura 1.3) e instrumentos semelhantes eram utilizados para retirar água dos poços de forma rápida e eficaz. A cegonha continua a ser muito utilizada no Médio Oriente.

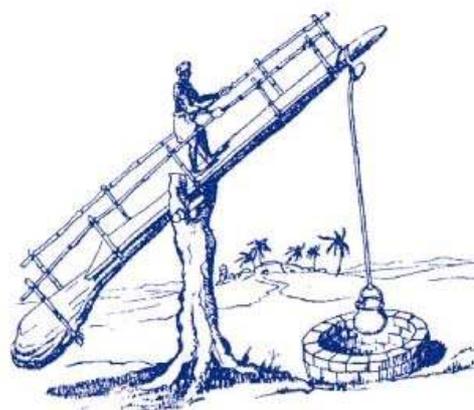
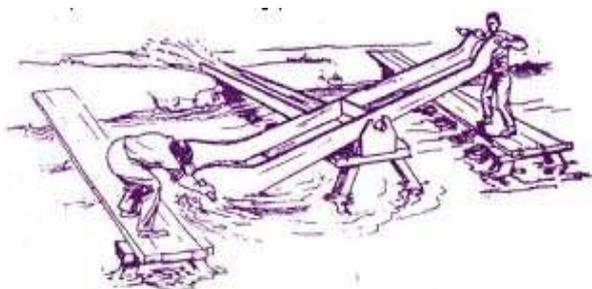



Figura 1.3: Cegonha.[3]

[2] Imagem retirada de: http://www.emarp.pt/Poco3000aC.jpg
[3] Imagem retirada de: http://www.emarp.pt/Sarilho2500aC.jpg

Este utensílio era essencialmente de madeira e, basicamente, constituído por dois troncos unidos. Um desses troncos encontra-se fixo, na vertical, e a sua extremidade apresenta a forma de uma fisga. Nessa fisga era colocado um ferro que servia de eixo em torno do qual rodava o outro tronco. Este segundo tronco era furado no meio para poder ser trespassado pela barra de ferro. Assim era possível a movimentação do balde, que ficava suspenso por um gancho metálico na extremidade do tronco móvel, para se poder baixar e retirar a água do poço. Na outra extremidade desse mesmo tronco eram amarradas algumas pedras para fazerem contrapeso e assim "tornar o balde mais leve" e mais fácil de manusear.

Figura 1.4: Sifão.[4]

Posteriormente em 1550 a.C. começou a utilizar-se o sifão, para remover a água. O sifão, figura 1.4 era utilizado para facilitar a captação da água através do bombeamento manual efectuado por dois homens.

Anos mais tarde, por volta de 1485 a.C., o grego Dános fica conhecido como o pai da bomba de água, figura 1.5.

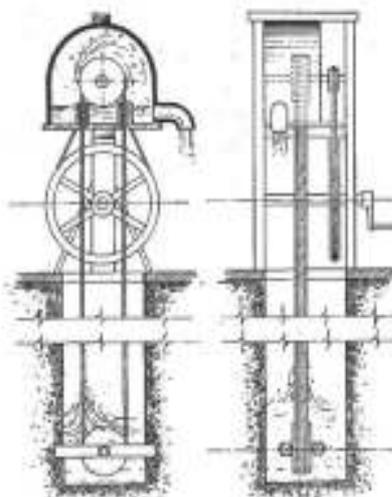



Figura 1.5: Bomba de água.[5]

Tales de Mileto (?625/4-558 a.C.) afirmava que a água era a origem de todas as coisas – a água era o princípio da natureza húmida, por isso ela era o princípio de tudo, e a terra encontrava-se sobre ela. A água seria a *physis* que,

[4] Imagem retirada de: http://www.emarp.pt/Sifao1550aC.jpg
[5] Imagem retirada de: http://www.emarp.pt/Bomba1485aC.jpg

na época, abrangia tanto a acepção de “fonte originária” como a de “processo” de surgimento e de desenvolvimento, correspondendo à génese.

Para explicar a origem dos rios, acreditava-se que eles eram alimentados pela água do mar, a qual ascendia através da destilação provocada pelo fogo interior das rochas ou ainda, por meio do refluxo capilar da água em movimento ascendente, face ao peso exercido pelas montanhas. O surgimento da água adquiria então, um novo significado, o de processo geológico sem conotações metafísicas, onde tudo estaria originariamente encoberto pela água, e a sua evaporação permitiria que as coisas aparecessem. Contudo, não era possível aos antigos filósofos explicar, cientificamente, o funcionamento do ciclo hidrológico e responder correctamente às suas interrogações como, por exemplo, o facto do nível do mar ser constante apesar do desaguar contínuo dos rios. Para uma explicação mais completa do ciclo hidrológico faltavam-lhes os suportes experimentais e quantitativos, os quais apareceriam somente no final do século XVII, na Europa.

A ideia da conservação da água, do seu escoamento e da sua eterna renovação, estava presente no pensamento filosófico, em particular, na dialéctica de Heraclito de Éfeso (?540-470 a.C.). Quanto aos aspectos qualitativos da água, Platão (427-347 a.C.) já considerava a necessidade de disciplinar o seu uso e prescrevia uma certa penalização para aqueles que lhe causassem algum dano pois, para ele, a água era imprescindível à manutenção das plantações.

Figura 1.6: Processo de destilação.[6]

Em 350 a.C. Aristóteles estudou e descreveu o processo de obter água doce a partir de água salgada por destilação (ebulição e subsequente condensação), figura 1.6. Passaram mais de 1400 anos até que os Mouros trouxessem a ideia de abastecimento público para a Europa Ocidental. Os sistemas públicos de abastecimento de água nasceram no final do terceiro século a.C. na Grécia, Roma, Cartago e Egipto.

[6] Imagem retirada de: http://www.emarp.pt/DestilarSecXX.jpg

O Império Romano destacava, para cuidar da questão da água, homens considerados os mais entendidos no assunto, pois já naquela época, associava-se a saúde do povo à qualidade da água.

No auge do Império Romano, Roma era abastecida por um sistema constituído por onze aquedutos e havia uma distribuição diária de água de cerca de 1000 litros por habitante, muito superior às necessidades da época.

Os romanos além de construírem grandes aquedutos, utilizavam a água do banho para descarregarem as fezes. Esta atitude demonstrava uma sabedoria extrema do uso da mesma água para várias finalidades. Também aqui se vê que naquele tempo havia a preocupação quanto ao uso racional da água. Em Roma chegaram a existir mais de 450 banhos públicos, no entanto, foram diminuindo devido ao elevado número de doenças infecciosas que se contraíam nesses banhos. O crescimento populacional nestas cidades começou a criar sérios problemas, quanto ao saneamento básico. Os hábitos higiénicos eram pouco considerados, sendo usual a deposição de restos orgânicos nas vias públicas, e as instalações sanitárias eram insuficientes ou não existiam. Além das devastadoras epidemias, este período foi marcado pela grande incidência de doenças como a varíola, a cólera e a lepra, sendo a taxa de mortalidade bastante elevada. Este problema era agravado com chuvas que inundavam as casas de lama contaminada com lixo e microrganismos causadores de doenças. Era natural que houvesse doenças infecciosas em larga escala, pois o fornecimento da água para as cidades antigas fazia-se, principalmente, através de poços contaminados pelas fezes.

Na Grécia foi desenvolvida uma tecnologia para captação e distribuição de água através de longas distâncias. Ao sistema hidráulico, aplicava-se o princípio dos vasos comunicantes (180 a.C. a 160 a.C.).

Já na Era Comum as primeiras cidades europeias começaram a construir sistemas de abastecimento de água, por volta de 1500.

Com o desenvolvimento científico e tecnológico decorrente da Revolução Industrial, o Homem passou a dispor de materiais, equipamentos e técnicas que lhe permitiram construir sistemas mais eficazes para a captação, transporte e distribuição da água.

O Parafuso de Arquimedes (figura 1.7) um grande exemplo dessa evolução tecnológica, permitia que a água se elevasse até torres altas, de onde era canalizada para as habitações dos consumidores.

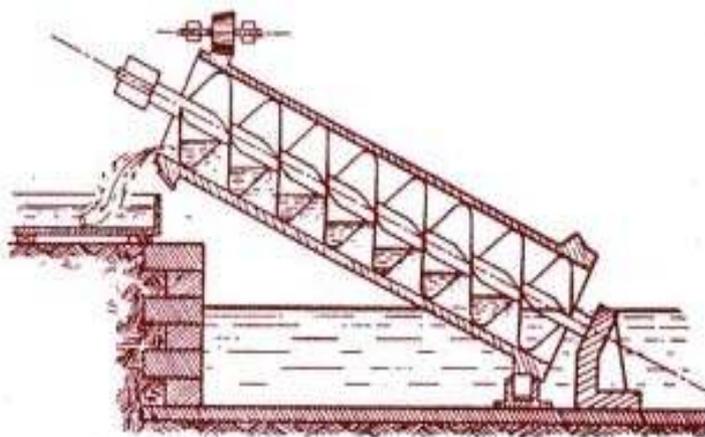



Figura 1.7: Parafuso de Arquimedes.[7]

Em 1614, um italiano de nome Castelli descreveu o modo como, finalmente, foi capaz de medir o fluxo de água ou de outro líquido.

Em Marly (França), deu-se por terminado um sistema hidráulico extraordinário, por volta do ano de 1682. Era accionado por uma série de noras gigantes (figura 1.8) desenvolvendo cada uma delas uma força superior a 100 cavalos-vapor (cv).

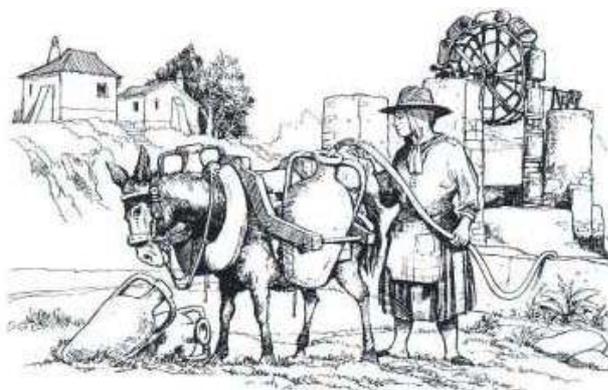



Figura 1.8: Nora típica algarvia (Secs. XIX - XX).[8]

James Peacock demonstrou, em 1791, que a água podia ser filtrada deixando-a infiltrar-se num leito de areia. Esta técnica é normalmente utilizada em Estações de Tratamento de Águas.

Em 1854 o Dr. John Snow (médico) fez a primeira abordagem eficiente de algumas das doenças causadas pela água. Cerca de 500 pessoas que viviam nas proximidades de Broad Street (hoje, Broadwick Street), no Soho, em

[7] Imagem retirada de: http://www.emarp.pt/Parafuso1500.jpg
[8] Imagem retirada de: http://www.emarp.pt/NoraSecXIX.jpg

Londres, morreram de cólera num período de dez dias. Deste modo a atenção das pessoas começou a centralizar-se nos métodos existentes para purificar a água. A tecnologia hidráulica necessitava de uma evolução tanto ao nível quantitativo como qualitativo, em função da procura crescente de água e do evidente crescimento urbano. Para isso, era preciso impulsionar as pesquisas, sobre novas soluções técnicas, para possibilitar a implantação das redes para abastecimento público de água e do saneamento público, bem como da administração e legislação destes e de outros serviços.

A partir do séc. XVIII, com a descoberta do cloro e a sua aplicação posterior no tratamento e desinfecção da água, iniciou-se uma nova era referente ao abastecimento de água para consumo público. A água foi, pela primeira vez, desinfectada com cloro em 1896, na costa italiana do Adriático, como medida de protecção de doenças. Posteriormente, em Inglaterra e nos Estados Unidos da América, também se começaram a desenvolver sistemas de desinfecção da água utilizando-se um tratamento que consistia numa pré-cloração seguida de coagulação, sedimentação, filtração e cloração final.

No final do século XIX e início do século XX, com os avanços da microbiologia, a compreensão do processo saúde-doença assume um maior destaque. O surgimento da teoria unicausal (que defendia que a doença se relacionava a um único agente patogénico) veio alterar a percepção de como se deveriam controlar as epidemias. Como consequência desta alteração, e após conhecimento do agente causador da doença o seu combate fazia-se com o auxílio de medicamentos desenvolvidos e administrados ao paciente. Houve, a partir de então, uma preocupação em prevenir doenças instaurando-se a "política sanitária", com a finalidade de controlar os focos de contaminação nas cidades.

Hoje, século XXI, a água encontra-se facilmente disponível para a população. No entanto, esta situação não está generalizada em todo o Mundo, existindo regiões totalmente áridas e outras onde o acesso a água potável é muito difícil.

Actualmente o número de pessoas sem acesso a água potável ascende a 1,1 mil milhões. Previsões denotam que se os níveis de consumo de água continuar a aumentar excessivamente, no ano de 2015 cerca de $2/3$ da

população mundial será afectada pela escassez de água. A água potável ocupa uma parcela muito pequena do total da água do planeta e é um recurso natural precioso, devendo ser utilizado de forma sustentável. A boa gestão da água deve ser objecto de um plano que contemple os múltiplos usos desse recurso, desenvolvendo e aperfeiçoando as técnicas de utilização, tratamento e recuperação de aquíferos.

Normalmente, não se tem consciência da importância da água. Raramente se pensa que esta desempenha um papel fundamental tanto ao nível das necessidades do nosso corpo (limpeza e alimentação) como do nosso bem-estar psicológico (lagos, zonas marinhas e fluviais).

Somente nos períodos de seca, quando falta a água nas habitações, as pessoas se apercebem de como dependem da água para as mais variadas actividades domésticas. Dificilmente alguém se questiona sobre a quantidade de água consumida por mês, ou analisa a factura da água. Muitas pessoas limitam-se apenas a pagar a conta no banco sem terem noção dos gastos. Esta inconsciência pode ser explicada pelo facto de, essas mesmas pessoas viverem em regiões onde a oferta de água é bastante satisfatória.

Em todo o mundo, com excepção da Europa, é na agricultura que a água é mais utilizada, como por exemplo na irrigação de culturas e criação de animais. Em algumas zonas da Ásia, o consumo de água na actividade agropecuária chega a ser dez vezes maior que na produção industrial.

A humanidade passou, em toda a sua história, por duas grandes revoluções – agrícola e industrial – e a água esteve presente em ambas, paradoxalmente ocasionando evolução por um lado e por outro, conflitos, doenças e mortes.

Durante muito tempo, pensou-se que a água, ao circular na natureza, seria capaz de eliminar todos os seus poluentes e seria um bem infinito, como tal os esgotos industriais e domésticos eram despejados, sem tratamento, nos rios. Mas, actualmente, a água é considerada pelos especialistas como um recurso renovável, porém finito, pois a poluição e o uso dos recursos hídricos têm acrescido de tal forma que não permitem a reposição na velocidade necessária ao consumo.

2

OS CICLOS DA ÁGUA

2.1. O Ciclo Natural da Água

A água tem um papel fundamental, sendo de uma extrema utilidade para as mais diversas actividades humanas, onde se destacam, entre outras, o abastecimento público e industrial, a irrigação agrícola, a produção de energia eléctrica e as actividades de lazer e recreação, bem como a preservação da vida aquática. A crescente expansão demográfica e industrial observada nas últimas décadas trouxe como consequência o comprometimento das águas dos rios, lagos e reservatórios. A falta de recursos financeiros nos países em desenvolvimento tem agravado esse problema, pela impossibilidade da aplicação de medidas correctivas para reverter a situação.

A água é a única substância que existe em todos os três estados da matéria (sólido, líquido e gasoso) na Natureza. A coexistência destes três estados implica que existam transferências contínuas de água de um estado para outro; este movimento da superfície para a atmosfera e vice-versa é denominado por *ciclo da água*.

“A água da Terra distribui-se por três reservatórios principais, os oceanos, os continentes e a atmosfera, entre os quais existe uma circulação contínua – o ciclo da água ou ciclo hidrológico” (Alves, 2005).

Na figura 2.1 pode verificar-se que o ciclo da água é constituído por dois ramos principais: o *terrestre e o atmosférico*. O ramo terrestre consiste na entrada de água no solo, o seu escoamento e armazenamento, nas suas variadas formas, à superfície (e no interior) dos continentes e nos oceanos.

Figura 2.1: O ciclo da água.

O ramo atmosférico corresponde ao transporte atmosférico de água, principalmente na fase de vapor. O tempo de permanência da água na atmosfera é diminuto, estima-se um período de apenas 10 dias. Mas nos aquíferos esse tempo é muito superior, cerca de 600 anos. Nos rios, a água permanece somente entre 10 a 20 dias, em contrapartida nos oceanos estima-se em 3000 anos. Este ramo é de grande importância neste ciclo, uma vez que o processo de transporte e distribuição da humidade, através da circulação atmosférica, é responsável pela variação da precipitação anual nos continentes em relação ao total de água que evapora a partir dos mesmos.

Do total de água na Terra, 97% está concentrada nos oceanos. A restante água (3%) encontra-se dispersa sob diversas formas: congelada, nos rios e nos lagos ou retida no subsolo e na atmosfera. A quantidade de água que se encontra em cada um destes locais mantém-se aproximadamente constante, devido ao ciclo hidrológico.

A permanente mudança do estado físico da água (devido às diferentes e particulares condições climatéricas no nosso planeta) é a base da existência da

erosão da superfície terrestre. Devido à acção das forças tectónicas foram-se formando, ao longo dos tempos, imensas montanhas, no entanto se essas mesmas forças não existissem a Terra seria, hoje, um planeta uniformemente coberto por uma camada de aproximadamente 3 km de água salgada.

A água (no estado líquido) que se encontra nos mares, rios, lagos e na superfície terrestre devido à influência da energia proveniente do Sol, que constitui o grande "motor" do ciclo hidrológico, poderá evaporar-se. Este vapor de água, juntamente com o proveniente da transpiração dos seres vivos, é libertado para a atmosfera, onde ascende até que se dá a condensação devido ao arrefecimento da massa de ar em que está inserido. Ao condensar formam-se pequenas gotículas de água, que vão aumentando de dimensão à medida que mais água condensa ou que várias partículas se agregam, até que se tornam demasiado pesadas e caem sob a forma de precipitação.

Quando chove, uma parte da água infiltra-se nos espaços livres do solo e das rochas. Pela acção da força da gravidade esta água infiltra-se até não encontrar mais espaços vazios, começando então a movimentar-se horizontalmente em direcção às áreas de baixa pressão. A única força que se opõe a este movimento é a força de adesão das moléculas de água à superfície das rochas por onde penetra. A água da chuva que não se infiltra, escoa sobre a superfície em direcção a riachos, rios, mares, oceanos e lagos. Nas regiões suficientemente frias (calotes polares), esta água pode acumular-se na forma de gelo, onde poderá ficar imobilizada por milhões de anos. O caminho subterrâneo das águas é o mais lento de todos. A água de uma chuva que não se infiltrou levará poucos dias para percorrer muitos e muitos quilómetros. Já a água subterrânea poderá levar dias para percorrer poucos metros. Esta água poderá voltar à superfície, através das fontes, unindo-se às águas superficiais, ou então, voltar a infiltrar-se novamente.

A vegetação tem um papel importante no ciclo hidrológico, pois uma parte da água que precipita é absorvida pelas raízes (e utilizada no metabolismo das mesmas) regressando posteriormente à atmosfera pela transpiração ou pela simples e directa evaporação (evapotranspiração).

Sintetizando, a água existente no planeta Terra não constitui uma realidade estática. Tal como todos os outros elementos, integra-se em complexos ciclos biogeoquímicos, que a mantêm numa circulação permanente

entre os diversos subsistemas. Estabelece-se, assim, um sistema fechado, no qual a quantidade total se mantém praticamente constante. Tirando a contribuição (negligenciável) do calor interior da Terra, a circulação da água neste sistema fechado depende da energia solar, que sobre ela actua, directa e indirectamente e da energia potencial.

"Neste sistema global, identificam-se diversos subsistemas ou compartimentos, com localização e características próprias. A partição da massa total de água pode ser apresentada da forma compartimentada, como se observa na figura 2.2, na qual se identificam os vários reservatórios do ciclo hidrológico - os oceanos, os continentes (litosfera e criosfera) e a atmosfera" (Pinto, 2005).

Nesta figura estão registados os valores estimados da quantidade de água armazenada nos oceanos, na terra e na atmosfera e as quantidades trocadas anualmente entre estes diferentes reservatórios através da evaporação, precipitação e escoamento.

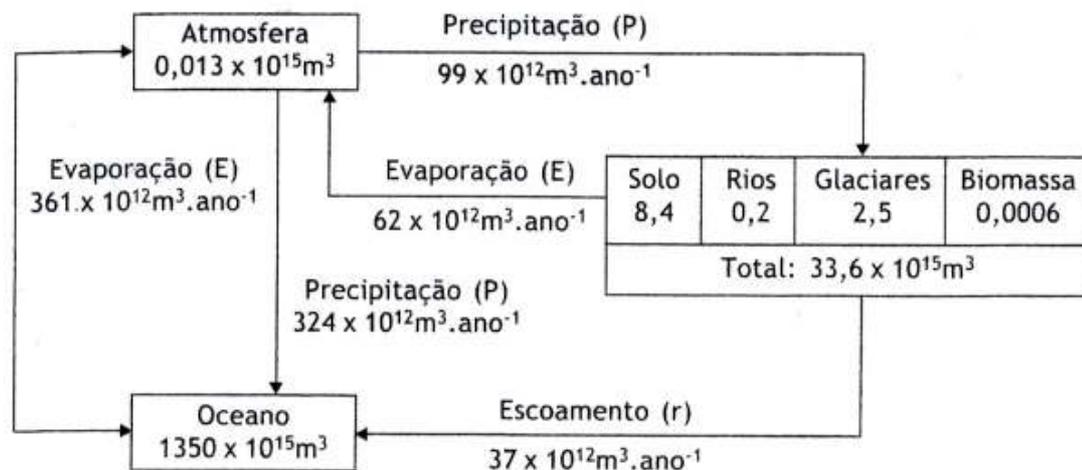



Figura 2.2: Ciclo da água definido pelos vários subsistemas, com a indicação da dimensão dos compartimentos e dos principais fluxos envolvidos (Peixoto, 1979).

Observa-se na figura 2.3 que a pequena fracção de água existente nos continentes está sob a forma de gelo e neve ou abaixo da superfície (água subterrânea). Da água que se precipita sobre as áreas continentais, calcula-se que a maior parte se infiltra.

Figura 2.3: Distribuição da água na Terra.[9]

A infiltração é importante para regularizar o caudal dos rios, distribuindo-o ao longo de todo o ano, evitando, assim, os fluxos repentinos, que provocam inundações.

As cidades são aglomerados, onde grande parte do solo é impermeabilizado, e a consequência lógica deste facto é o aumento de água que escoa, provocando inundações das áreas mais baixas. Se as previsões, de que está a haver um aquecimento global e de que este levará ao aumento das chuvas, estiverem correctas, é de se esperar um agravamento de inundações nos países tropicais.

Infelizmente só uma fracção muito pequena (cerca de 1%) de toda a água terrestre está directamente disponível ao Homem e aos outros organismos (animais, vegetação), sob a forma de lagos e rios, ou como humidade presente no solo, na atmosfera e como componente dos mais diversos organismos. Cada vez mais a escassez de água se torna uma preocupação a nível mundial, como se pode verificar na figura 2.4.

[9] Imagem retirada de: http://www.geocities.com/~esabio/agua/agua.htm.

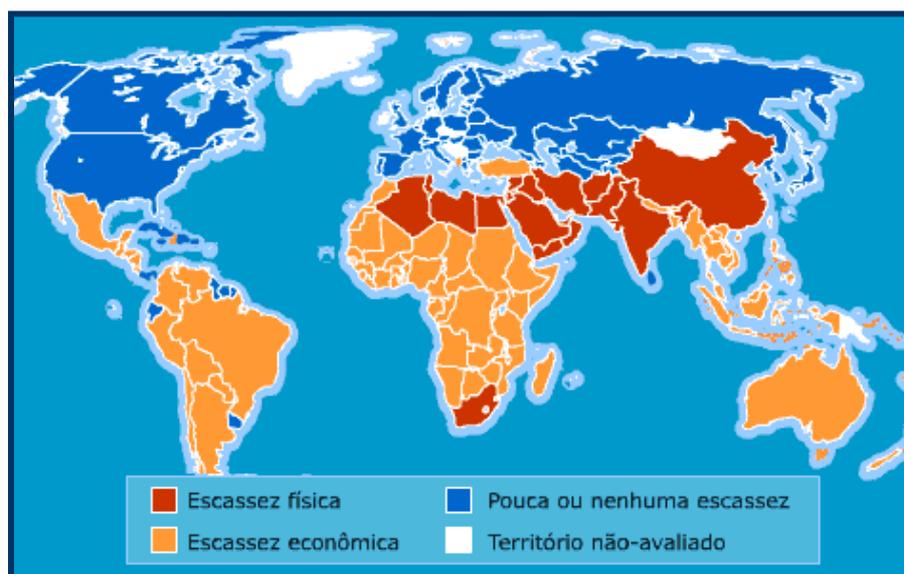



Figura 2.4: Escassez de água a nível mundial.[10]

É de referir que a água não é equilibradamente distribuída pelo mundo. Há locais onde nunca ou raramente chove e noutros onde chove excessivamente. Infelizmente nas zonas mais secas a evaporação é elevada, daí que o Homem intervenha e transporte a água de locais húmidos para locais secos de forma artificial.

O Ciclo Hidrológico repete-se inúmeras vezes, o que faz com que a quantidade de água se mantenha constante no nosso planeta, ou seja o ciclo da água permite manter em equilíbrio a quantidade de água existente na atmosfera e na superfície terrestre. No entanto o Homem tem vindo a interferir neste ciclo, que tem funcionado há milhares e milhares de anos, ao poluir a água.

2.2. O Ciclo Urbano da Água

A água utilizada para consumo humano deve obedecer a certos critérios de qualidade, de modo a não causar danos à saúde dos seus consumidores. Para isso, é necessário estabelecer limites de impurezas de modo a que as técnicas convencionais de tratamento possam minimizá-las tornando então a água potável.

[10] Imagem retirada de: http://www.uniagua.org.br/website/default.asp?tp=3&pag=trabalhos.htm (Universidade da Água).

O conceito de *águas doces superficiais* refere-se à água de rios, lagos e albufeiras. As águas dos rios são, em geral, águas com elevada turvação, pequena contaminação bacteriológica e baixa temperatura. A zona jusante das águas dos rios, devido a se encontrar, geralmente, junto de regiões com elevada densidade populacional e industrial, apresenta contaminações significativas de natureza bacteriológica, orgânica e inorgânica. Estas águas podem sofrer ao longo do tempo uma perda de qualidade, já que o armazenamento de grandes quantidades de água favorece a decomposição da matéria orgânica e a dissolução de metais.

A água para consumo humano é normalmente captada de rios, lagos e albufeiras. Posteriormente a selecção do esquema de tratamento dessa água depende dos objectivos de qualidade definidos e das características da "água bruta" a usar. O tratamento vai-se processar em várias etapas que se interligam num espaço físico, conhecido por Estação de Tratamento de Água (ETA). As etapas, ou métodos individuais de tratamento, classificam-se em operações físicas e processos químicos, que serão apresentados mais à frente.

Após tratamento da água nas ETA, a água fica apta para abastecimento público.

Depois de utilizada a água pelos consumidores, nas suas múltiplas actividades diárias, são gerados os efluentes domésticos. As três maiores fontes dos efluentes domésticos são as águas provenientes de sanitários, lavagens (e banhos) e ainda uma gama de operações diversas que inclui a preparação de alimentos, lavagem de utensílios domésticos, roupas, automóveis, etc. Como primeira análise, estas três fontes de efluentes contribuem igualmente para o caudal doméstico total. A natureza destas águas é facilmente identificável; a carga poluente mais significativa provém do serviço de sanitários (matéria fecal, urina e papel). As outras fontes são normalmente menos poluentes, e incluem sabões e detergentes, suspensões de partículas de comida, sedimentos e materiais coloidais e solúveis.

Existem ainda inúmeras indústrias que descarregam águas residuais para a rede de esgotos e, frequentemente, para meios receptores naturais. O controlo destas descargas está normalmente a cargo de autoridades competentes (autarquias e Ministério do Ambiente) que impõem limites quanto

à natureza e volume de efluentes a descarregar, assegurando ainda o cumprimento desses limites. Um conjunto vasto de indústrias obriga à formulação de condições gerais que regulam as descargas industriais. Três condições gerais são normalmente requeridas:

- que o efluente não danifique as redes de esgotos; esta condição significa que nenhuma descarga deve bloquear nem atacar a estrutura da conduta de esgoto;
- que o efluente não seja adverso para o processo de tratamento que está a jusante ou à sua subsequente descarga; são impostas condições para restringir a emissão de materiais tóxicos que prejudicam a evolução de tratamentos biológicos por envenenamento dos microrganismos responsáveis pelo processo de tratamento. Mesmo em estações sem tratamento biológico, na presença de materiais tóxicos, haverá consequências graves para o meio aquoso receptor;
- que o efluente não sobrecarregue o processo de tratamento. É também indesejável que um efluente, apesar de não ser tóxico, seja altamente poluente e com uma carência bioquímica de oxigénio elevada. Se efluentes deste tipo estiverem presentes em grande volume no escoamento, podem originar uma carência tão elevada sobre os processos biológicos que estes acabam por falhar. De modo semelhante uma elevada concentração em partículas sólidas no efluente é desaconselhada, pois pode provocar uma sobrecarga nos processos de sedimentação.

Os meios hídricos naturais são, frequentemente, utilizados como meios receptores e agentes de transporte de efluentes domésticos e industriais. A água depois de utilizada (por exemplo a água do autoclismo) transforma-se numa água poluída, tecnicamente denominada *água residual*. Uma água está poluída quando as suas características físicas, químicas e biológicas são alteradas de forma que inviabiliza a sua utilização para o uso a que se destina.

Os efluentes líquidos são descarregados, em princípio após tratamento, em rios e/ou lagos. Posteriormente, estas massas de água podem ser a origem de água para consumo humano. Para evitar que os rios, lagos ou albufeiras fiquem poluídos é necessário tratar esses efluentes em locais adequados – as Estações de Tratamento de Águas Residuais, ou ETAR. A descarga de águas residuais na água ou no solo por uma determinada Instalação necessita de licença a emitir pela Direcção Regional do Ambiente na qual será fixada a norma de descarga e demais condições, tendo em conta os requisitos estabelecidos no Decreto-Lei nº 236/98 de 1 de Agosto, bem como os existentes nas várias portarias sectoriais relativas às normas de qualidade da água (que contêm normas de descarga específicas) e tendo em atenção, ainda, os Decretos-Lei que regulamentam determinadas substâncias em específico.

Todo este conjunto de etapas referidas dá origem ao denominado **Ciclo Urbano da Água[11],** figura 2.5. O Ciclo Urbano da Água tem início na captação da água (num rio, lago ou albufeira), passando por tratamentos adequados numa ETA, para poder ser utilizada para consumo e abastecimento humano. Por fim se o efluente não for muito poluído pode ser lançado directamente para os cursos de água. Mas se a carga de poluentes for demasiada, a água terá de ser tratada com a ajuda do Homem antes de ser lançada aos cursos de água, pois nestas situações a auto depuração não é suficiente nem eficaz. O tratamento das águas residuais é realizado em ETAR. Consoante as características físicas, químicas e biológicas assim será escolhido o tratamento que melhor se adapte ao problema.

[11] Caminho percorrido pela água que é consumida pelas pessoas, desde a captação até à devolução ao meio ambiente.

Figura 2.5: Ciclo Urbano da Água.[12]

O tratamento da água em Estações de Tratamento de Água (ETA) e depois da sua utilização em Estações de Tratamento de Águas Residuais (ETAR) tem por objectivos melhorar a qualidade da água sob diferentes aspectos fundamentais, designadamente:

a) Higiénicos: eliminação ou redução de bactérias, substâncias tóxicas, mineralização excessiva, teor excessivo de matéria orgânica, algas, protozoários e outros microrganismos. Quase todas as águas de abastecimentos são cloradas para a melhoria da qualidade bacteriológica e segurança sanitária;

b) Estético: remoção ou redução de cor, turbidez, odor e sabor;

c) Económico: remoção ou redução de substâncias corrosivas, dureza, cor, turbidez, manganês, odor, sabor, etc.

[12] Imagem retirada de: http://www.adp.pt/frontend/portugues/section.asp?ids=1&ida=13 (Águas de Portugal).

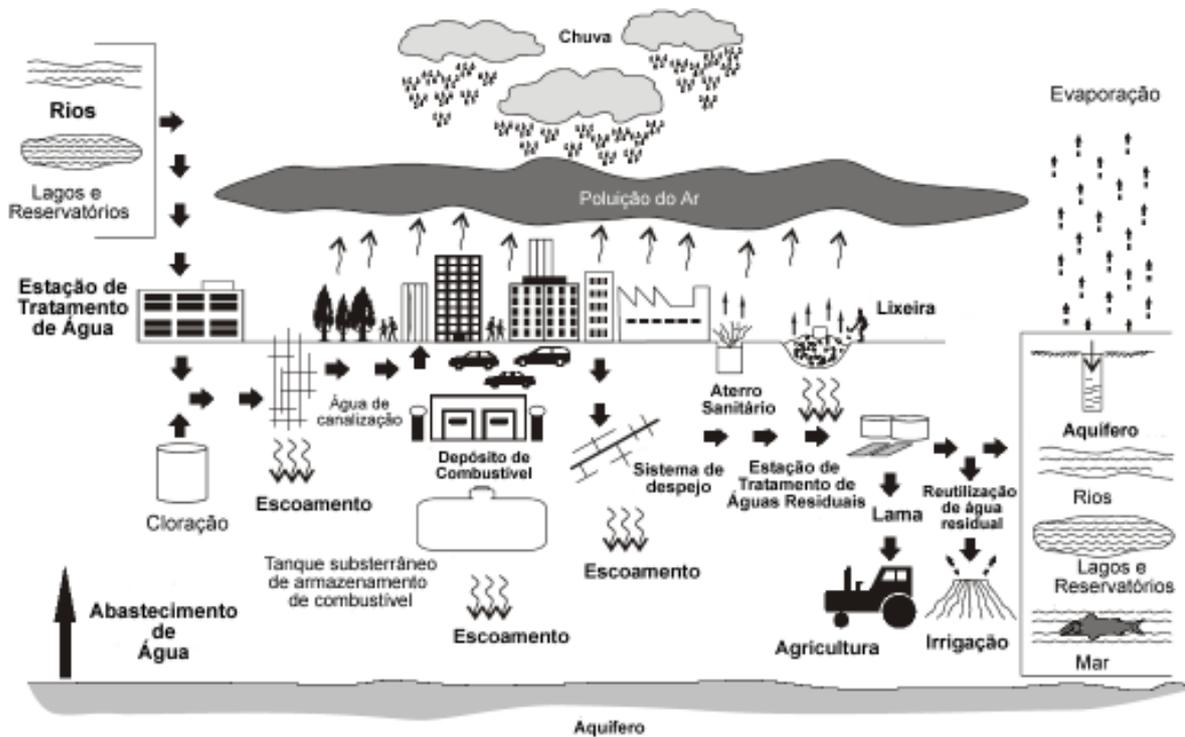



Figura 2.6: Ciclo Urbano da Água desde a captação da água até à sua devolução a lagos e reservatórios (Adaptado de Programa Internacional Hidrológico, UNESCO, 2006).

3

TRATAMENTO DE ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO

3.1. Introdução

A água distribuída pela rede de abastecimento público é sujeita previamente a vários tratamentos físicos e químicos, de modo a tornar-se potável e poder ser consumida com segurança. Este tratamento é feito em instalações próprias para este efeito, chamadas Estações de Tratamentos de Água ou ETA, figura 3.1.

Como se obtém água potável?

É de vital importância para a saúde pública que a comunidade tenha um abastecimento seguro que satisfaça as necessidades domésticas, onde se inclui a preparação de alimentos e a higiene pessoal. Para alcançar este propósito devem ser cumpridas uma série de normas de qualidade (física, química e microbiológica), de tal maneira que a água esteja isenta de organismos capazes de originar enfermidades (microrganismos patogénicos) e de qualquer substância orgânica ou inorgânica que possa prejudicar a saúde.

A água que consumimos pode ter origem superficial ou subterrânea. A superficial provém de rios, lagos ou albufeiras, enquanto que a subterrânea provém dos aquíferos existentes no subsolo. Após a captação, a água é conduzida para as ETA, onde vai ser tratada.

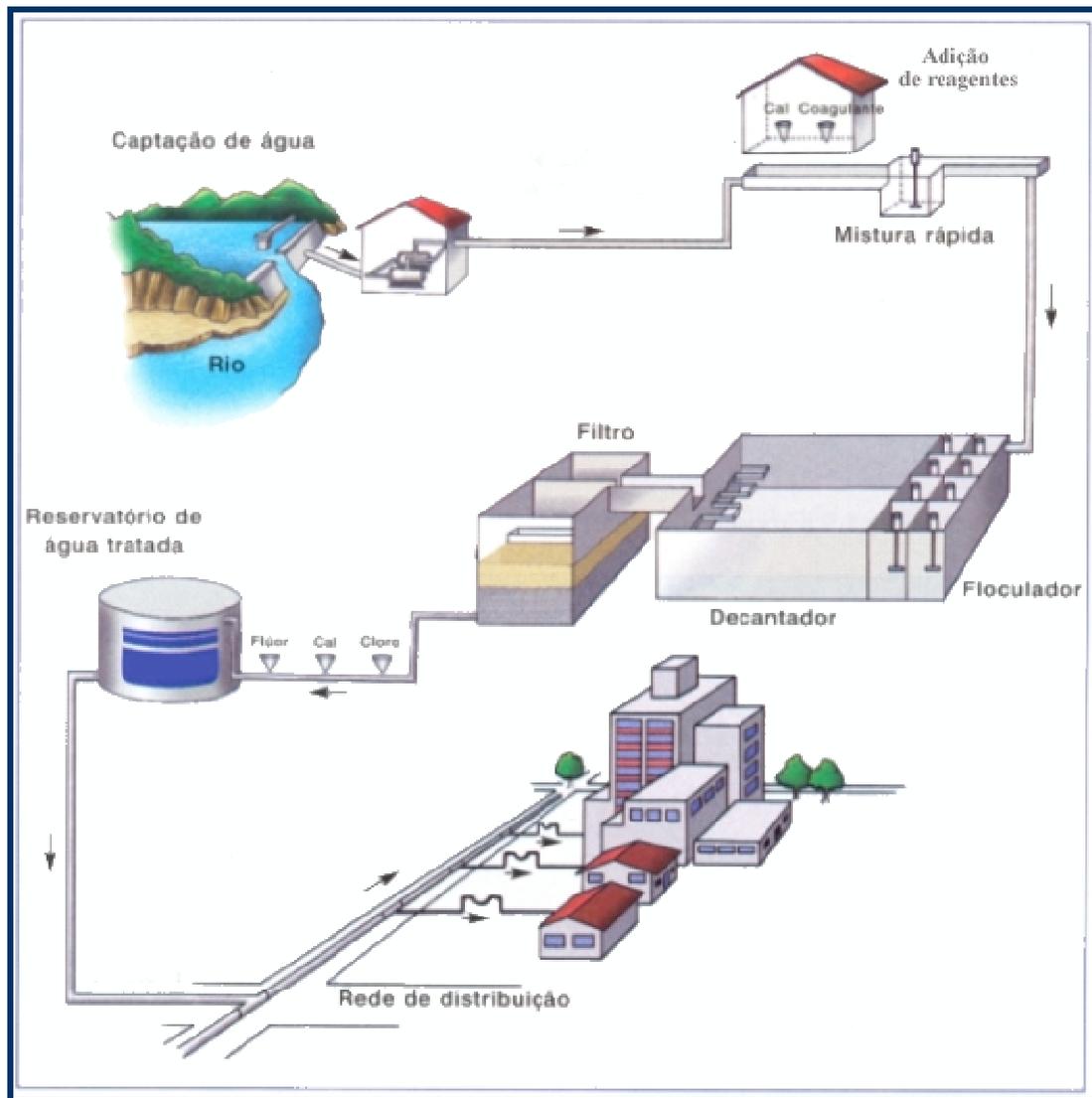



Figura 3.1: Esquema geral de uma Estação de Tratamento de Água (ETA).[13]

O tratamento de água para consumo humano realizado numa ETA envolve, em geral, várias etapas apresentadas genericamente na figura 3.2 e que incluem tipicamente: a pré-oxidação, a coagulação/floculação química, a sedimentação, a filtração e a desinfecção.

Nas tabelas 3.1 e 3.2 apresentam-se as funções das principais operações físicas e dos processos químicos que podem ser aplicados numa ETA.

[13] Imagem retirada de: http://www.copasa.com.br/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?sid=98 (site da COPASA).

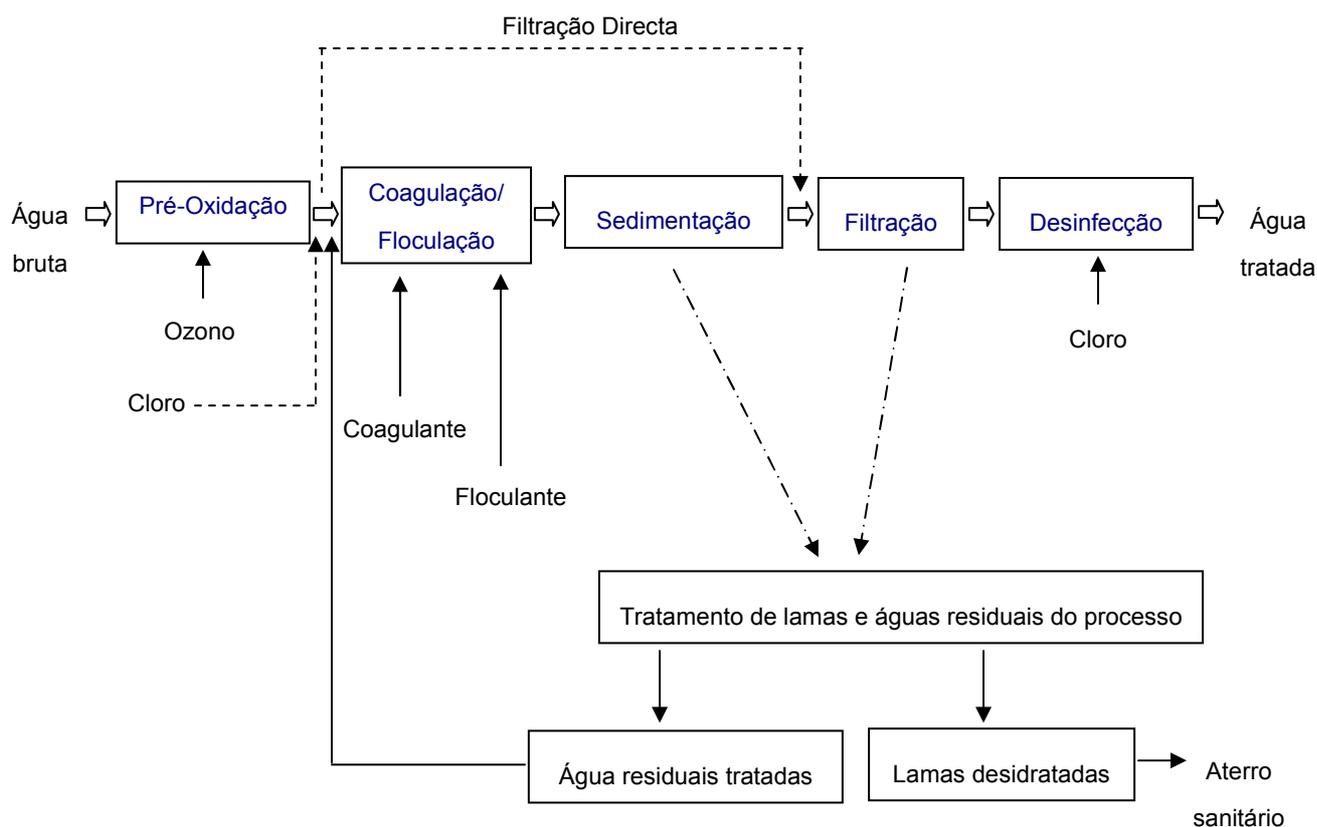



Figura 3.2: Diagrama esquemático de uma Estação de Tratamento de Água. (Adaptado de Campina, 2002).

Tabela 3.1: Funções das principais operações físicas de tratamento aplicáveis a águas destinadas a abastecimento (Adaptado de Alves, 2005).

Operações Físicas	***Funções***
Gradagem	Separação de impurezas grosseiras
Arejamento	Colocação da água em contacto com o ar
Floculação	Aglutinação de partículas em suspensão
Sedimentação	Remoção de partículas em suspensão
Filtração	Remoção de partículas finas após sedimentação
Armazenamento	Conservação da água tratada antes da distribuição

Tabela 3.2: Funções dos principais processos químicos de tratamento aplicáveis a águas destinadas a abastecimento (Adaptado de Alves, 2005).

Processos Químicos	***Funções***
Pré-oxidação	Oxidação de matéria orgânica
Coagulação	Desestabilização de partículas coloidais
Estabilização	Correcção de pH, alcalinidade e teor de cálcio
Desinfecção	Remoção de microrganismos patogénicos

3.2. Captação

A água que chega à estação de tratamento é, em geral, captada directamente de rios, lagos ou albufeiras. Contém normalmente diversas impurezas como lamas, areias, lixos e microrganismos.

A água é captada através de bombas (figura 3.3) e a potência destas depende da altura a que a água vai ser projectada e do caudal transportado. A grande oscilação que se verifica nas albufeiras (por exemplo) obriga à instalação de equipamento apropriado para trabalhar a vários níveis. As bombas são instaladas em torres construídas nas margens dos rios, lagos ou albufeiras.

Quando se pretende captar água de poços surgem as seguintes dificuldades:

a) espaço reduzido para a montagem do equipamento;

b) nível hidrodinâmico de água situado a grande profundidade;

c) imperfeição do poço, podendo suceder que esteja desalinhado ou fora da vertical;

d) presença de areia.

Por causa destas dificuldades a selecção da bomba só deve ser feita depois de um dimensionamento adequado e de testes de rendimento e de caudal.

Posteriormente a água captada é bombeada para condutas que a vão conduzir até aos reservatórios de distribuição, para ser devidamente tratada.

Figura 3.3: Bomba de captação de água (ETA de Monte Novo).

3.3. Gradagem

A água captada segue por uns canais até à sua primeira etapa de tratamento: a gradagem. Neste tratamento procede-se à remoção dos sólidos grosseiros, através de grades metálicas, evitando a obstrução das condutas e possíveis danos nos sistemas de bombagem.

3.4. Arejamento

Esta etapa tem como objectivo colocar a água em contacto com uma fase gasosa (geralmente o ar) de modo a que haja transferência de compostos solúveis do ar para a água, aumentando assim os teores de oxigénio e azoto, bem como de substâncias voláteis da água para o ar. A dissolução de oxigénio é também importante como meio de promover a remoção de alguns poluentes como o ferro, manganês, dióxido de carbono, sulfureto de hidrogénio, cloro, metano e compostos aromáticos voláteis.

3.5. Pré-Oxidação

A etapa de pré-oxidação é normalmente realizada por ozonização. O ozono é produzido num ozonizador (figura 3.4) através da conversão parcial de oxigénio. De difícil transporte e armazenamento (figura 3.5), o ozono é geralmente produzido *in* situ, isto é, no local onde é utilizado.

Os geradores de ozono utilizados actualmente funcionam baseados no mesmo princípio, isto é, ar ou oxigénio puro, escoando através de uma célula (figura 3.4) onde se gera uma descarga eléctrica, produzida por uma fonte eléctrica de elevada voltagem.

Figura 3.4: Esquema da célula geradora de ozono (Adaptado de Di Bernardo, 1993).

O processo de pré-oxidação tem como objectivo essencial a redução da concentração de microrganismos e a oxidação da matéria orgânica, presentes na “água bruta”, facilitando algumas etapas posteriores de tratamento.

Figura 3.5: Ozonizadores (ETA de Tavira).

Figura 3.6: Tanques de armazenamento de azoto e oxigénio (ETA de Tavira).

3.6. Coagulação/Floculação química

As partículas em suspensão na “água bruta” com diâmetros compreendidos entre 0,01 e 1 µm são conhecidas por colóides. Estas partículas possuem uma carga eléctrica superficial (de grandeza variável) geralmente negativa. As partículas negativas atraem para a sua superfície catiões presentes em solução. A carga eléctrica que se desenvolve em redor das partículas coloidais tende a afastá-las umas das outras contribuindo este facto para uma maior estabilidade em solução. Para remover as partículas coloidais não se poderá recorrer directamente à sedimentação, pois torna-se ineficaz, devido às pequenas dimensões das partículas e à estabilidade referida anteriormente.

Sendo assim recorre-se a procedimentos de coagulação e floculação química.

A coagulação é um processo “que tem por objectivo desestabilizar as partículas em suspensão, ou seja, facilitar a sua aglomeração” (Alves, 2005). Para isso, nesta fase adiciona-se à água, por mistura rápida e dispersão, um coagulante químico. Os coagulantes químicos são adicionados num tanque, vulgarmente denominado de misturador rápido com umas pás giratórias no seu interior. A quantidade de coagulante adicionado varia com as características da água e a sua selecção depende de vários factores, tais como:

- natureza e qualidade da “água bruta”;

- alcalinidade;

- teores de ferro e de matéria orgânica;
- variabilidade diária ou sazonal da qualidade da "água bruta";
- variação da temperatura da água;
- grau de pureza dos reagentes.

Convém salientar que dependendo do objectivo específico a atingir com a utilização do processo de coagulação, os reagentes aplicados podem classificar-se de diferentes modos:

➢ *coagulantes* – compostos responsáveis pela desestabilização dos colóides. A sua natureza pode ser inorgânica, como os sais de alumínio e ferro, ou orgânica, como a poliacrilamida.

➢ *alcalinizantes* – compostos capazes de conferir a alcalinidade necessária à coagulação, como a cal, hidróxido de cálcio e hidróxido de sódio.

➢ *adjuvantes* – compostos auxiliares que se destinam a melhorar as operações de coagulação e floculação. A sílica activada e os polielectrólitos são os exemplos mais comuns.

Para determinar a dose óptima de coagulante, o pH óptimo e o grau de agitação para se assegurar a formação efectiva de flocos realiza-se, em laboratório, o *Teste de Jarros*, mais conhecido por *Jar-Test*. Este teste simula uma sequência de mistura rápida, floculação e sedimentação. Utilizam-se vários copos contendo volumes iguais de água, aos quais se adicionam diferentes quantidades de coagulante. Após submetidos a mistura rápida e posteriormente a sedimentação poder-se-á comparar a turvação, para se concluir acerca das doses óptimas.

O processo de coagulação, onde as pequenas partículas se juntam formando partículas de maiores dimensões é reforçado na fase de **floculação**. A floculação "é uma operação que tem por objectivo promover o contacto, através de uma mistura lenta, das partículas desestabilizadas e favorecer a sua agregação em flocos facilmente sedimentáveis" (Alves, 2005). Nesta fase, e com a ajuda de uma misturadora é misturado na água um *floculante*, que ao ser agitado faz com que as diminutas partículas se agrupem formando os referidos flocos. A mistura deve ser suficientemente intensa para permitir o contacto entre as partículas e impedir a sedimentação dos flocos e

suficientemente moderada para não os desagregar e dispersar.

Os floculantes, também designados por adjuvantes da coagulação são produtos destinados a favorecer cada uma destas operações. Estes floculantes podem classificar-se consoante a:

- *natureza* – orgânica ou inorgânica;
- *origem* – sintética ou natural;
- *carga eléctrica* – aniónico, catiónico ou não iónico.

O primeiro floculante a ser utilizado foi a sílica activada, continuando actualmente a apresentar dos resultados mais eficazes.

3.7. Sedimentação

Quando as partículas em suspensão na água se tornam suficientemente grandes e pesadas podem ser retiradas da água. Este processo denomina-se sedimentação ou decantação. Sedimentação "é uma operação de remoção de partículas em suspensão cuja densidade é superior à da água. As operações de sedimentação processam-se em tanques de forma rectangular ou circular e escoamento horizontal ou vertical. Em todos eles é possível identificar quatro zonas: entrada, sedimentação, saída e acumulação de lamas" (Alves, 2005).

Dentro dos tanques, figura 3.7, a água fica em repouso até ficar parada. Sem agitação, e por serem mais pesados, os flocos de partículas em suspensão depositam-se no fundo do tanque, donde são extraídos periodicamente, deixando que a água limpa fique à superfície.

Figura 3.7: Decantador – Espessador Lamelar (ETA de Alcantarilha).

Às partículas depositadas no fundo destes tanques dá-se o nome de lama que posteriormente será retirada e tratada. A quantidade de lama gerada é significativa, normalmente entre os 3% e 5% do volume total da água que é tratada. Os tanques deverão ser equipados de dispositivos mecânicos de limpeza, que limpam continuamente o fundo do tanque. Por sua vez a água decantada é conduzida para a fase seguinte, a filtração.

3.8. Filtração

Apesar de quase clarificada ainda existe alguma sujidade na água, que será retirada através de um processo designado de filtração. “A filtração é uma operação que tem como objectivo a remoção de partículas em suspensão por passagem da água que as contém através de um meio poroso. Regra geral a filtração é usada como método de afinação da qualidade da água, ou seja, tem como finalidade eliminar matéria suspensa que não tenha sido removida nas fases de coagulação, floculação e sedimentação. [A filtração além de permitir a remoção de sólidos em suspensão], possibilita a redução do número de microrganismos e, dependendo da natureza do meio, a remoção de cheiro, sabor e cor” (Alves, 2005). Neste processo a água é obrigada a passar por um conjunto de filtros muito estreitos e as sujidades ficam aí retidas deixando a água limpa passar. Posteriormente os sólidos retidos, são removidos de modo intermitente, mediante a lavagem com ar e água em corrente invertida. Os filtros geralmente são feitos de areia (figuras 3.8 e 3.9), cascalho e às vezes de carvão mineral.

Figura 3.8: Filtros de areia (ETA de Tavira).

Figura 3.9: Lavagem dos filtros de areia (ETA de Alcantarilha).

Figura 3.10: Cuba receptora de água filtrada (ETA de Alcantarilha).

3.9. Desinfecção

A última etapa de tratamento numa ETA é muito importante para a saúde humana: a desinfecção da água. "A desinfecção é um método de tratamento que tem como objectivo a eliminação de microrganismos potencialmente nocivos para a saúde dos consumidores" (Alves, 2005). Todas as águas de abastecimento devem ser desinfectadas mesmo quando exista uma garantia de qualidade microbiológica.

A desinfecção é realizada recorrendo a *agentes físicos* e *agentes químicos.* Destacam-se nos agentes físicos, o calor, a luz solar, a radiação ultravioleta. Dos agentes químicos os mais relevantes são os oxidantes (cloro, bromo, iodo, ozono), os iões metálicos (prata), certos ácidos e bases, bem

como alguns detergentes.

Na tabela 3.3 apresentam-se algumas características que um desinfectante “ideal”, no processo de desinfecção, deveria apresentar.

Tabela 3.3: Principais características que um desinfectante deverá apresentar no processo de desinfecção.

Ser tóxico, a baixas concentrações, para os microrganismos.
Não ser tóxico para os seres humanos e animais.
Ser solúvel em água.
Ser estável, permitindo a manutenção de concentração residuais durante longos períodos de tempo.
Não reagir com outra matéria orgânica que não seja a dos microrganismos.
Permitir um controlo fácil nas suas concentrações.

A utilização do cloro, como desinfectante, é considerada por especialistas como o método mais importante de desinfecção que protege a água com segurança até às torneiras.

“Quando se pretende desinfectar uma água com cloro, deve adicionar-se uma dose que seja suficiente para que ocorra a oxidação de todas as substâncias inorgânicas e da amónia disponível (cloraminas ou cloro combinado) e resulte uma concentração residual de cloro livre suficiente para atender consumos futuros, resultantes de novas reacções do cloro com impurezas” (Alves, 2005).

A evolução da concentração de cloro residual segue o aspecto do gráfico da figura 3.11.

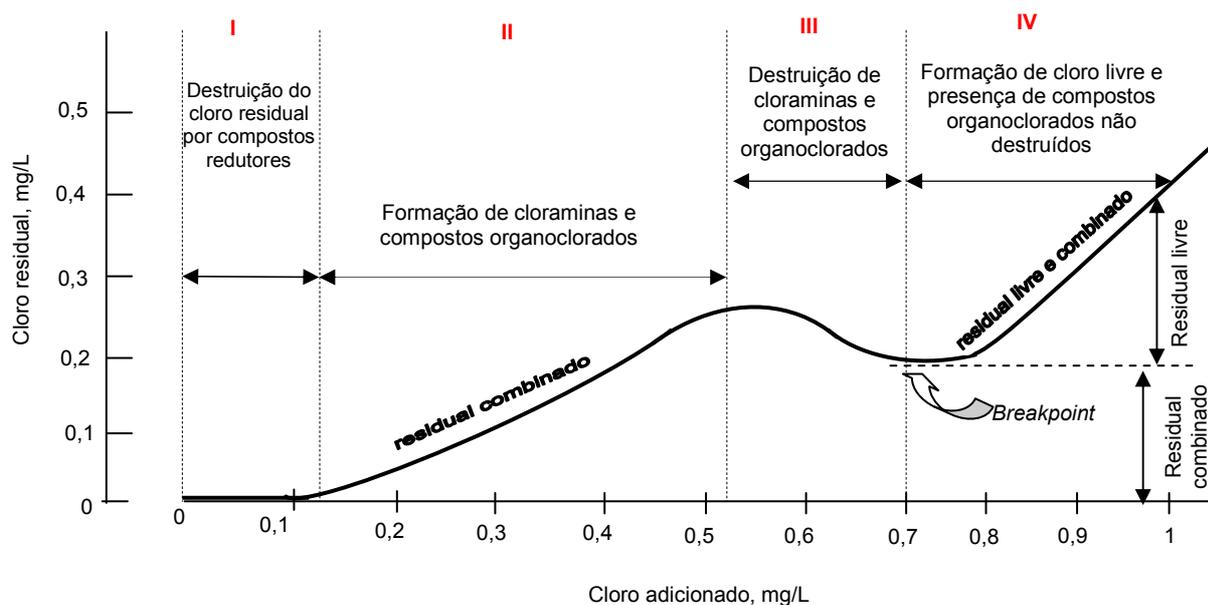



Figura 3.11: Curva de cloração (Adaptado de Alves, 2005).

Na curva de cloração são visíveis quatro zonas distintas:

I – **Carência imediata de cloro:** as doses iniciais de cloro reagem com a matéria orgânica e mineral facilmente oxidável, originando cloretos. Nesta etapa todo o cloro é consumido, mas a água não é desinfectada.

II – **Formação de cloraminas:** o cloro adicionado reage com a amónia, originando cloraminas e compostos orgânicos cloroazotados. Nesta fase o cloro possui poder desinfectante e denomina-se de *cloro residual disponível combinado.*

III – **Destruição das cloraminas:** o cloro adicionado reage com as cloraminas e compostos orgânicos cloroazotados. A eliminação das cloraminas reduz o teor em cloro residual disponível combinado.

IV – **Formação de cloro residual disponível livre:** a partir de uma determinada dose de cloro a destruição das cloraminas deixa de existir e todo o cloro adicionado origina ácido hipocloroso a que se dá o nome de cloro residual disponível livre, tal como se pode verificar na figura 3.11.

O cloro é creditado devido a vários aspectos positivos: permite a manutenção de uma concentração residual na água facilmente mensurável e

controlável, além de ser economicamente acessível, entre outros. É este químico que vai eliminar da água os microrganismos que podem causar doenças e infecções ao Homem e é também o responsável pelo sabor característico da água canalizada.

Apesar de todos os aspectos positivos inerentes a este desinfectante há que ter em conta situações que poderão ser motivo de preocupação. O facto do cloro reagir com muitas substâncias orgânicas e inorgânicas naturalmente presentes na água e a sua utilização em doses elevadas poder provocar problemas associados ao sabor e odor, são alguns dos contras da utilização deste desinfectante, podendo no entanto ser substituído por outros agentes químicos, como por exemplo o ozono.

O ozono (O_3) é um alotrópico do oxigénio que apresenta uma coloração azul pálida, com um cheiro desagradável. O seu uso em desinfecção tem vindo nos últimos anos a adquirir um maior interesse visto tratar-se de uma substância com um elevado potencial de oxidação. Antigamente, a desinfecção de águas com o ozono era considerada pouco viável, devido ao elevado investimento em capital fixo e também devido à elevada toxicidade do gás. Recentemente foram desenvolvidas tecnologias mais económicas de produção de ozono, tornando a sua aplicação mais competitiva. Este gás é eficiente na eliminação da cor, cheiro e sabor da água, bem como iões metálicos, matéria orgânica e micropoluentes existentes.

O ozono possui um poder "desinfectante 10 a 100 vezes superior ao do cloro, eliminando mesmo os microrganismos mais resistentes" (Alves, 2005). Durante o processo de ozonização, não se verifica a formação de produtos residuais perigosos, visto que o ozono se decompõe rapidamente. No entanto, a desinfecção por ozono exige uma tecnologia mais complexa que a desinfecção por cloro ou por radiação ultravioleta e requer equipamento mais sofisticado, o que lhe confere uma enorme desvantagem na sua utilização como desinfectante.

A desinfecção por radiação ultravioleta tem ganho, na última década, uma maior aceitação, apresentando, em regra, custos competitivos, boas eficiências e vantagens em relação às tecnologias de desinfecção com recurso a produtos químicos. O sistema de desinfecção por radiação ultravioleta não produz resíduos nem subprodutos nocivos, podendo ser bastante eficiente na

destruição de vírus e bactérias, o que torna esta tecnologia bastante eficaz. A desinfecção por radiação ultravioleta constitui um processo físico que elimina os inconvenientes associados à manutenção e manuseamento de produtos químicos, tais como o transporte, armazenamento e sobredosagem.

Além dos processos de desinfecção supracitados poderão existir ainda outros processos, como a utilização do *calor,* do *iodo* e do *permanganato de potássio.*

3.10. Armazenamento

Depois de desinfectada a água segue para os reservatórios finais (armazenamento), mas não sem antes ser verificado novamente o seu pH e, caso necessário adicionar água de cal.

Neste momento a água já se encontra potável sendo guardada em grandes depósitos onde será depois enviada através da rede de distribuição para as habitações.

Todo o processo desde a captação até ao armazenamento deve ser metodicamente monitorizado, de acordo com programas de exploração, tendo em vista o funcionamento optimizado das etapas de tratamento atrás indicadas (figura 3.12).

Refira-se ainda a importância fundamental do controlo da qualidade da água nas várias fases do processo, sendo efectuadas diariamente, em laboratório (figura 3.13), numerosas análises físico-químicas, microbiológicas e biológicas.

Figura 3.12: Analisadores de água em contínuo (ETA de Tavira).

Figura 3.13: Laboratório (ETA das Fontaínhas).

Apesar das Estações de Tratamento da Água possuírem uma grande flexibilidade em termos de caudal de água a tratar, é desejável que o seu regime de funcionamento seja o mais constante possível, permitindo assim obter maior controlo da qualidade do produto final. É neste sentido que, em termos de exploração do sistema, se dedica particular atenção à distribuição de caudais pelos diversos pontos de entrega.

Por isso se estabelece, normalmente, que os volumes de reserva de água tratada nos diversos pontos de entrega municipais, apresentem capacidade suficiente para armazenar o volume necessário para consumo referente ao dia de maior dispêndio, em cada ano. Para que esta gestão seja possível e eficiente é necessário que sejam disponibilizadas, em tempo real, para o centro de comando, as seguintes informações:[14]

- ✓ níveis dos reservatórios;
- ✓ volume de água armazenada;
- ✓ caudal instantâneo e acumulado;
- ✓ percentagem de abertura das válvulas reguladoras;
- ✓ pressão instantânea;
- ✓ estado das válvulas motorizadas;
- ✓ caudal de bombagem das Estações Elevatórias;
- ✓ qualidade da água na rede de extracção e pontos de entrega.

[14] Poderão existir outras informações, mas referem-se aqui as mais importantes.

3.11. Tratamento de Lamas geradas nas ETA

Os sistemas de tratamento estão concebidos de modo a que as águas residuais geradas no processo de tratamento, provenientes dos sedimentos dos decantadores e lavagem dos filtros, sejam sujeitas a um tratamento posterior, num decantador/espessador. As lamas aí obtidas são enviadas para desidratação, em filtros prensa (figura 3.14) e a água decantada retorna ao circuito de tratamento.

Figura 3.14: Filtro prensa (ETA das Fontaínhas).

As lamas, depois de desidratadas são conduzidas a um destino final apropriado (por exemplo aterro) ou para valorização, figura 3.15.

Figura 3.15: Lamas depois de saírem do filtro prensa (ETA de Monte Novo).

4

TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUAIS

4.1. Classificação de Águas Residuais

As águas residuais agrupam-se em função das suas origens: águas residuais domésticas, águas residuais urbanas e águas residuais industriais.

A definição aceite de **águas residuais domésticas, industriais e urbanas** está estipulada no Decreto-Lei nº 236/98 de 1 de Agosto. Entende-se por:

" *Águas residuais domésticas:* as águas residuais de serviços e de instalações residenciais, essencialmente provenientes do metabolismo humano e de actividades domésticas;

Águas residuais industriais: águas residuais provenientes de qualquer tipo de actividade que não possam ser classificadas como águas residuais domésticas, nem sejam águas pluviais[15];

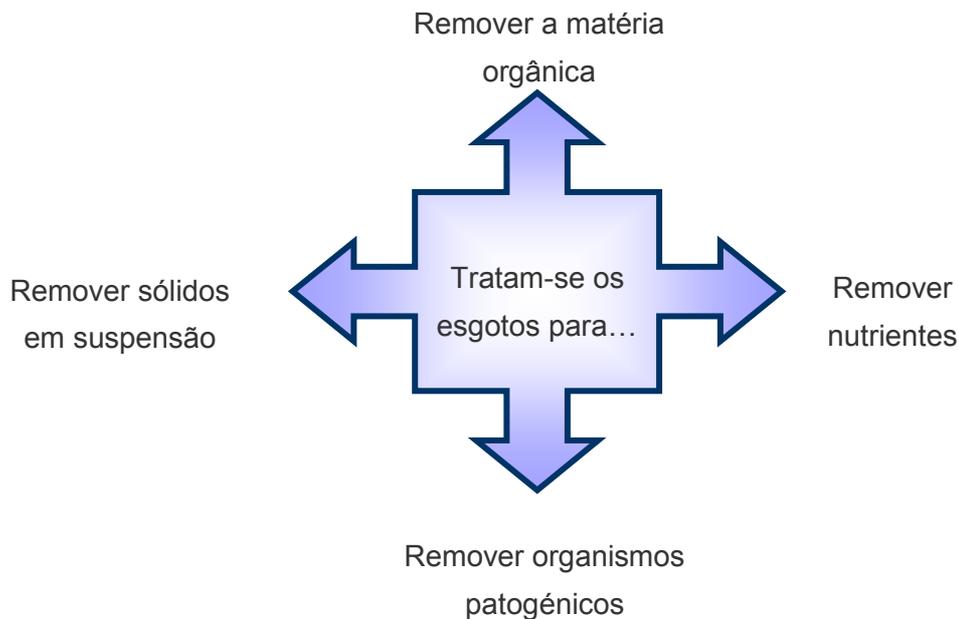
Águas residuais urbanas: as águas residuais domésticas ou a mistura destas com águas residuais industriais e/ou com águas pluviais".

"As Estações de Tratamento de Águas Residuais (ETAR) são unidades que tratam as águas residuais de origem doméstica e industrial, comummente designados por esgotos, para depois serem escoados para o mar ou rio com um nível de poluição inofensivo para o meio ambiente receptor" [31].

O caudal de *águas residuais de origem doméstica* varia naturalmente com o número de habitantes servidos pelo sistema de saneamento considerado. Podem existir flutuações do caudal diário mais ou menos acentuadas (em comparação com o que é teoricamente previsto) devido à presença de população fixa e população flutuante. Essa variabilidade pode contribuir para

[15] Nas águas residuais de origem pluvial há uma relação com o índice pluviométrico registado na área abrangida pelo sistema de drenagem. Além disso é também afectado por factores como o declive e a permeabilidade dos terrenos e a relevância volumétrica da precipitação registada.

um certo grau de instabilidade (o melhor exemplo dessa instabilidade é o caso de ETAR que servem zonas turísticas e que, por esse facto, vêem variações muito acentuadas dos caudais em determinadas épocas do ano).

Porquê tratar os esgotos?

As *águas residuais de origem industrial* podem também apresentar alguma variabilidade condicionada por:

- Factores endógenos: necessidade imprevista de se proceder a uma descarga de águas, como resultado de um aumento de produção pontual ou até mesmo devido a uma situação de carácter acidental;

- Factores exógenos: existência de unidades de produção com uma actividade de carácter essencialmente sazonal, no contexto das suas actividades particulares, assim como condicionalismos de mercado.

A estimativa da carga poluente das águas residuais municipais afluentes à ETAR deve ter em consideração a população servida, permanente e flutuante, as descargas industriais e ainda qualquer outra fonte de poluição afecta às descargas no sistema. O cálculo da estimativa das cargas poluentes deve ainda ter em consideração a evolução previsível, nomeadamente em termos de aumento de população, ao longo da vida útil da ETAR.

A estimativa da carga poluente que vai afectar os meios receptores deve ter em consideração as descargas provenientes dos efluentes não tratados nas

ETAR, das indústrias não ligadas ao sistema de drenagem municipal e ainda da actividade agrícola.

As descargas dos sistemas de drenagem urbana são uma das principais fontes de poluição dos meios hídricos superficiais. A construção de estações de tratamento de águas residuais tem sido uma das medidas utilizadas para a resolução do problema. Todavia, é frequente que os sistemas de drenagem funcionem de forma deficiente, descarregando para os meios receptores volumes significativos de águas residuais não tratadas: quer devido a descargas de tempestade, em sistemas unitários e mistos, quer devido a ligações indevidas, em sistemas separativos. É habitual estas descargas conterem elevadas cargas poluentes, sendo responsáveis pela degradação da qualidade da água dos meios receptores e comprometendo os objectivos de qualidade estabelecidos para estes. A situação torna-se tanto mais grave quanto menor é o caudal do meio receptor, devido à menor capacidade de diluição e de autodepuração deste. Em Portugal, e nos países do Sul da Europa em geral, este problema assume especial relevância, pelo facto de diversos cursos de água secarem ou terem caudais diminutos durante o Verão.

É fundamental reconhecer a importância do Tratamento de Águas Residuais como forma de conservação dos ecossistemas e:

- sensibilizar a comunidade dos perigos para a saúde pública da utilização de águas residuais para rega de produtos hortícolas;
- reconhecer que a determinação da qualidade da água se pode efectuar através da utilização de parâmetros químicos e biológicos.

Apesar da construção recente de múltiplas Estações de Tratamento de Águas Residuais, durante muitos anos as fossas sépticas, com os seus consequentes impactos ambientais negativos, foram os sistemas de tratamento mais comuns em muitos aglomerados populacionais. Além disso, outras agressões ecológicas eram frequentes. Esgotos a céu aberto, despejos clandestinos, com os rios e outras linhas de água a serem as principais vítimas, e aterros sanitários desordenados. Tudo isto ao longo dos anos foi-se combatendo e a envergadura das infra-estruturas a construir e a operar exigem acções de suporte de educação ambiental para consolidar o

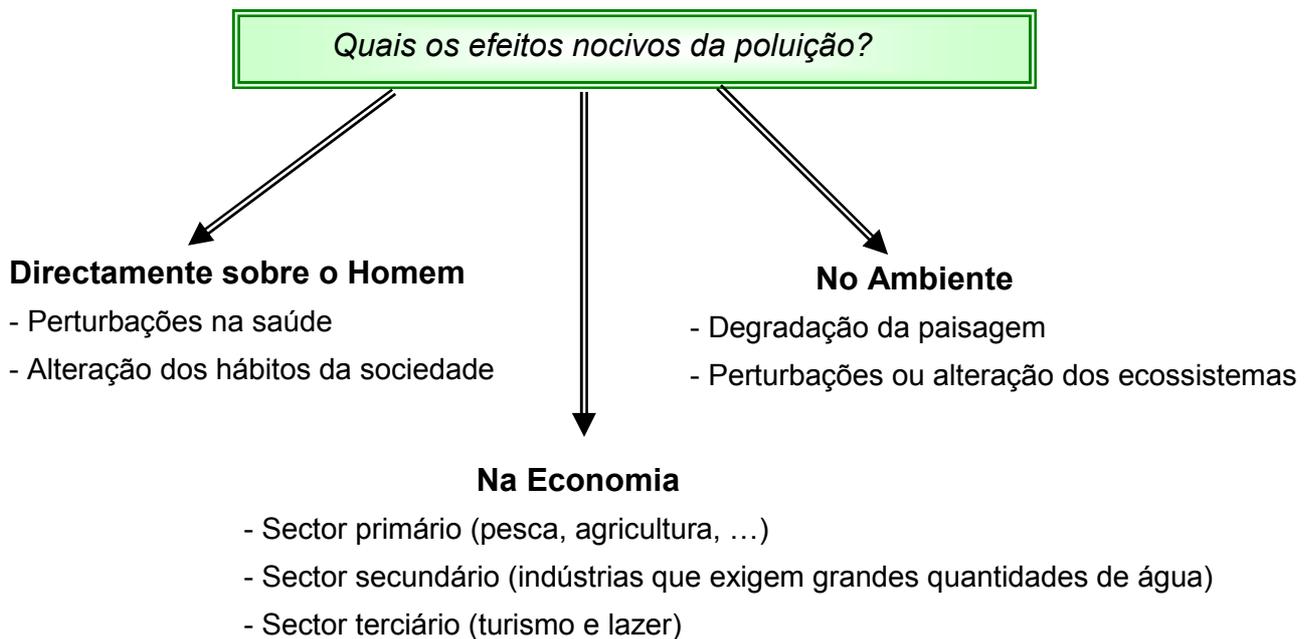
projecto nas comunidades. Para este efeito muitas actividades têm sido desenvolvidas, bem como acções nas escolas, para recriar uma consciência cívica para a problemática do ambiente. Nas empresas tem-se vindo a estimular as boas práticas ambientais, e na própria população já há uma preocupação em se fazer algum exercício pedagógico e procedimentos ambientais que possam valorizar o património, preservar os recursos hídricos e sensibilizar para o uso racional da água.

O efluente tratado numa ETAR é normalmente descarregado no meio hídrico mais próximo com capacidade para receber essa descarga sem causar efeitos prejudiciais. Este meio receptor pode ser um canal de drenagem, um rio, um ribeiro, um lago ou o oceano. Nalguns casos é necessário construir um colector submerso equipado na secção de saída com um difusor, para assegurar a diluição adequada e efectiva do efluente no meio receptor.

Na tabela 4.1 estão referidos os efeitos prejudiciais de descarregar águas residuais não tratadas no meio ambiente e também alguns benefícios do tratamento dessas mesmas águas para a comunidade.

Tabela 4.1: Efeitos das descargas de águas residuais não tratadas num meio receptor (Adaptado de Myers et al, 1996).

Componente da água residual	Efeitos prejudiciais	Benefícios do tratamento das águas residuais para a comunidade.
Materiais sólidos de grandes dimensões – papéis, trapos, sacos de plástico, preservativos, etc.	Visual – acumulação de lixo nas margens dos rios, lagos e praias. Pode construir um risco para a saúde pública através de contacto.	O ambiente circundante aos rios, lagos e praias fica mais seguro e agradável para actividades de trabalho ou de recreio. Actividades económicas dependentes do turismo ou actividades de recreio serão beneficiadas.
Matéria orgânica – restos de comida, matéria fecal e alguns resíduos industriais	Os níveis de oxigénio nos meios hídricos receptores reduzem-se pela acção de bactérias e outra vida aquática que consome matéria orgânica – os peixes e outros organismos morrem e eventualmente cheiros desagradáveis são produzidos, semelhantes a ovos ou couves podres.	As actividades dependentes da pesca são protegidas assim como a pesca desportiva. Meio ambiente mais agradável para viver, trabalhar e para actividades de recreio. Actividades económicas dependentes do turismo ou actividades de recreio serão beneficiadas.
Óleos e gorduras	Formação de espuma nas superfícies de água com consequente degradação da paisagem e sendo potencialmente negativa para o ambiente. Formação de película impermeável na superfície líquida, reduzindo o potencial de transferência de oxigénio da atmosfera para o meio líquido.	Transferência mais eficiente do oxigénio da atmosfera para a massa líquida, favorecendo a sobrevivência da vida aquática. Meio ambiente mais agradável para viver, trabalhar e para actividades de recreio. Actividades económicas dependentes do turismo ou actividades de recreio serão beneficiadas.
Nutrientes – azoto, fósforo e materiais refractários	Funcionam como fertilizantes e estimulam o crescimento de algas, algas marinhas e outras plantas aquáticas que obstruem os cursos de água e poluem as margens dos rios e lagos e as praias com material em decomposição, que eventualmente se transforma em resíduos orgânicos. Pode estimular o crescimento intensivo de algas tóxicas e a acumulação nos bivalves pode vir a afectar as pessoas que os consomem.	Melhoria das condições e da segurança para produção de bivalves e outros organismos aquáticos. Meio ambiente mais agradável para viver, trabalhar e para actividades de recreio. Actividades económicas dependentes do turismo ou actividades de recreio serão beneficiadas.
Bactérias e vírus causadores de doenças – por exemplo, cólera, febre tifóide e salmonelas	Contaminação de recursos hídricos onde se faz captação de água para consumo humano ou irrigação de culturas que serão depois ingeridas cruas por pessoas ou animais. Contaminação da água usada para produção de bivalves. Contaminação da água usada para a prática de desportos aquáticos.	Melhoria da saúde pública. Melhoria das condições e da segurança para produção de bivalves e outros organismos aquáticos. Actividades económicas dependentes do turismo ou actividades de lazer e recreio serão beneficiadas.
Substâncias tóxicas – geralmente com origem em efluentes industriais	Dependendo da toxicidade e concentrações nos meios receptores podem: danificar ou destruir a vida aquática; ser acumuladas nos peixes, bivalves e criaturas que deles se alimentam e eventualmente as pessoas que os consomem.	Melhoria das condições para a vida aquática. Melhoria da saúde pública.

Esquematicamente:

4.2. Características de Águas Residuais Urbanas

Quando se elabora um projecto de uma ETAR o conhecimento da qualidade média do efluente a tratar tem uma importância primordial

A caracterização da qualidade de um dado efluente urbano é efectuada mediante a realização de uma conjunto de análises laboratoriais cujos resultados facultam o conhecimento relativamente à sua composição física, química e biológica (e outros índices relevantes) e à caracterização da matéria orgânica que permite definir o seu estado de decomposição e oxigenação.

Em termos de matéria sólida presente nos efluentes urbanos que entram numa ETAR pode-se afirmar que esta é constituída por "uma fracção de sólidos em suspensão e por outra de sólidos dissolvidos, numa relação aproximada de 40% e 60% respectivamente" (Águas de Portugal, 2002).

Na tabela 4.2 apresentam-se a composição típica das águas residuais urbanas.

Tabela 4.2: Caracterização física e química das águas residuais urbanas (Metcalf, 1979).

Constituintes das águas residuais	Unidades	Concentração		
		baixa	**média**	elevada
Carência Bioquímica de Oxigénio (5 dias, 20ºC, CBO_5)	mg/L	110	220	400
Carência Química de Oxigénio (CQO)	mg/L	250	500	1000
Sólidos Totais (ST)	mg/L	350	720	1200
Sólidos Dissolvidos Totais (SDT)	mg/L	250	500	850
- Fixos	mg/L	145	300	525
- Voláteis	mg/L	105	200	325
Sólidos Suspensos (SS)	mg/L	100	220	350
- Fixos	mg/L	20	55	75
- Voláteis	mg/L	80	165	275
Sólidos Sedimentáveis	mg/L	5	10	20
Carbono Orgânico Total (COT)	mg/L	80	160	290
Azoto (total)	mg/L	20	40	85
- Orgânico	mg/L	8	15	35
- Amoniacal	mg/L	12	25	50
- Nitritos	mg/L	0	0	0
- Nitratos	mg/L	0	0	0
Fósforo (total)	mg/L	4	8	15
- Orgânico	mg/L	1	3	5
- Inorgânico	mg/L	3	5	10
Cloretos	mg/L	30	50	100
Sulfatos	mg/L	20	30	50
Alcalinidade (expressa em $CaCO_3$)	mg/L	50	100	200
Óleos e gorduras	mg/L	50	100	150
Coliformes totais	Nº/100 mL	10^6-10^7	10^7-10^8	10^7-10^9
Compostos orgânicos voláteis (COV)	µg/L	<100	100- 400	>400

As características dos efluentes são determinadas por métodos padronizados de análise, sendo os resultados expressos em unidades internacionalmente reconhecidas.

Alguns exemplos são referenciados na tabela 4.3.

Tabela 4.3: Alguns parâmetros e respectivas unidades (Adaptado de Decreto-Lei nº 236/98 de 1 de Agosto).

Parâmetros (alguns exemplos)	**Unidades**
Turvação	NTU (Unidades Nefelométricas de Turvação)
pH	U.S. (unidades Sorensen[16])
Cor verdadeira	--------------------
Condutividade	$\mu S.cm^{-1}$
Oxigénio Dissolvido	mg/L
Metais Pesados	$\mu g/L$

Como a água é um solvente, as substâncias inorgânicas nela dissolvidas estão dissociadas em iões (iões com carga positiva – catiões, iões com carga negativa – aniões). Na análise das águas os resultados são expressos em concentrações de catiões e aniões. Os resultados da análise química devem ser explícitos em miligramas por litro (mg/L) ou em miliquivalentes por litro (meq/L).

As características físicas, químicas e biológicas principais para a descrição de efluentes são apresentadas na tabela 4.4.

[16] Soren Peer Lauritz Sorensen (1868-1939) bioquímico dinamarquês propôs, em 1909, uma medida mais prática chamada pH e denominou a *p* "expoente do ião hidrogénio".

Tabela 4.4: Características físicas, químicas e biológicas de águas residuais e suas fontes (Adaptado de Decreto-Lei nº 236/98 de 1 de Agosto).

.	***Características***	***Fontes***
Propriedades físicas	Cor	Resíduos domésticos e industriais, degradação natural dos compostos orgânicos
	Odor	Decomposição de águas residuais, resíduos industriais
	Sólidos	Resíduos domésticos e industriais, erosão do solo
	Temperatura	Resíduos domésticos e industriais
Constituintes químicos: Orgânicos	Hidratos de Carbono	Resíduos domésticos, comerciais e industriais
	Óleos e lubrificantes	Resíduos domésticos, comerciais e industriais
	Pesticidas	Resíduos agrícolas
	Fenóis	Resíduos industriais
	Proteínas	Resíduos domésticos, comerciais e industriais
	Surfactantes	Resíduos domésticos, comerciais e industriais
	Outros	Degradação natural dos compostos orgânicos
Constituintes químicos: Inorgânicos	Alcalinidade	Infiltrações de águas nas terras e resíduos domésticos
	Cloretos	Infiltrações de águas no solo e resíduos domésticos
	Metais Pesados	Resíduos Industriais
	Azoto	Resíduos domésticos e agrícolas
	pH	Resíduos domésticos, comerciais e industriais
	Fósforo	Resíduos domésticos, comerciais e industriais
Gases	Metano	Decomposição dos resíduos domésticos
	Oxigénio	Decomposição dos resíduos domésticos
Constituintes Biológicos	Animais	Cursos de água e tratamento de plantas
	Plantas	Cursos de água e tratamento de plantas
	Protistas	Resíduos domésticos, tratamento de plantas

Caracterização Física

As águas residuais domésticas são normalmente turvas, de cor castanha amarelada, com cheiro característico a *mofo*. O sabor está normalmente associado à presença de substâncias na água, nomeadamente cloretos, cobre, ferro e magnésio. O cheiro está associado à presença de compostos apresentados na tabela 4.5.

Tabela 4.5: Componentes químicos que originam odor nas águas residuais.

Componentes químicos	**Fórmula Química**
Amoníaco	NH_3
Cloro	Cl_2
Sulfureto de dimetilo	$(CH_3)_2S$
Sulfureto de difenilo	$(C_6H_5)_2S$
Etanotiol	CH_3CH_2SH
Sulfureto de Hidrogénio	H_2S
Índole	C_8H_7N
Metilamina	CH_3NH_2
Metanotiol	CH_3SH
Matéria Orgânica	

A transparência ou turvação resulta da presença ou da ausência de partículas em suspensão, finamente divididas ou em estado coloidal. “As partículas de diâmetro maior que 1 μm podem sedimentar quando a água está em repouso, enquanto que os colóides (diâmetro < 1 μm) permanecerão em suspensão” (Afonso, 2000).

As substâncias que provocam turvação podem ser inorgânicas como partículas de rochas, solos e argilas, ou orgânicas.

Quando se faz uma caracterização relativa ao aspecto, tem de se ter em conta se a água é límpida ou turva, incolor ou corada e com ou sem sedimento. No entanto as águas naturais podem possuir cores muito distintas consoante as suas origens. A cor pode ser de origem mineral ou vegetal causada por substâncias naturais como o ferro, manganês, matérias húmicas, algas, plantas aquáticas ou por resíduos orgânicos e/ou inorgânicos.

Em termos de caracterização física de efluentes é importante a:

- determinação da cor;
- determinação de sabores e odores (propriedades que estão directamente associadas à existência de impurezas orgânicas – Mn, Fe, matéria orgânica);
- determinação da turvação (que detecta a presença de partículas coloidais não sedimentáveis e de sólidos suspensos);
- determinação da temperatura (que é um indicador da facilidade de sedimentação);
- determinação dos sólidos totais (critério mais simples de medição da carga poluente duma água residual - inclui os sólidos dissolvidos e suspensos).

Caracterização Química

As águas residuais domésticas têm na sua composição detergentes, óleos alimentares, gorduras, fezes, contribuindo, assim, com fósforo, cloretos, enxofre, sódio e potássio, respectivamente. Quando há afluência de águas industriais, estas podem aumentar as concentrações de metais como níquel, cobre e zinco. Verifica-se que o carácter prejudicial da água residual doméstica reside na fracção orgânica da matéria sólida.

A alcalinidade de uma água é a sua capacidade de neutralizar um ácido. A existência de alcalinidade na água, não significa necessariamente que o pH dessa água seja superior a 7. O constituinte da água que mais contribui para esta característica é o hidrogenocarbonato (ou bicarbonato) de cálcio, com

excepção de certas águas que, por terem atravessado zeólitos naturais, contêm bicarbonato de sódio, em vez de cálcio.

A acidez é uma propriedade oposta à alcalinidade, em que a presença de ácidos minerais não é comum nas águas naturais. Embora se considere ácida uma solução com pH < 7, a acidez mineral livre nas águas naturais só se verifica a pH $< 4,5$.

O controlo de pH[17] nas águas residuais é importante, uma vez que valores de pH < 5 ou pH > 10 têm influência negativa na evolução dos processos biológicos aeróbios. A introdução de efluentes muito ácidos ou muito alcalinos podem alterar esses valores.

Sob o ponto de vista químico a dureza total é uma propriedade que depende do teor de cálcio, magnésio, estrôncio, ferro, manganês e de outros metais. Concretamente deve-se à presença de iões metálicos bivalentes[18]. A dureza "temporária" da água é devida a carbonatos e bicarbonatos enquanto a dureza "permanente" se deve a sulfatos, cloretos e nitratos.

"São usados [vários] métodos para a medição do teor de matéria orgânica (medição do potencial de consumo de oxigénio) numa amostra de efluente. [Enumeram-se os mais importantes]:

- Carência Bioquímica de Oxigénio (CBO): é medida a quantidade de oxigénio usada pelos microrganismos na oxidação bioquímica da matéria orgânica de um efluente;

- Carência Química de Oxigénio (CQO): é medida a quantidade de oxigénio gasta na oxidação química da matéria orgânica;

- Carbono Orgânico Total (COT): é medido todo o carbono na forma de CO_2. [Este consiste na medição do CO_2 formado na oxidação química completa do carbono orgânico a temperatura elevada e na presença de um catalisador];

- Carência Teórica em Oxigénio (CTO): é medida a quantidade de oxigénio necessária para a oxidação de toda a matéria orgânica a produtos finais" (Dordio, 2002).

[17] Valores óptimos de pH são entre 6 e 9.
[18] Iões Bivalentes como: Ca^{2+}, Mg^{2+}, Mn^{2+}.

A carga orgânica de uma água mede-se pela sua concentração de CBO_5 e CQO. Por convenção adopta-se a simbologia CBO_5, para caracterizar o consumo de oxigénio nas condições do ensaio após um período de 5 dias de incubação.

"O Teste do CBO_5 consiste em determinar ao fim de um determinado tempo (normalmente 5 dias) a quantidade de oxigénio consumido por uma cultura mista de microrganismos inoculada no líquido a testar, colocado numa garrafa fechada a 20ºC e no escuro.

O Teste do CQO consiste em determinar a quantidade de oxigénio equivalente à matéria orgânica que pode ser oxidada usando um forte agente oxidante químico (normalmente o dicromato de potássio) a temperatura elevada (150ºC). Paralelamente utiliza-se um catalisador sulfato de prata e para minimizar a interferência de iões cloreto, sulfato de mercúrio.

A amostra a analisar é digerida numa solução fortemente ácida com um excesso conhecido de $K_2Cr_2O_7$, segundo a reacção:

$$C_aH_bO_c + dCr_2O_7^{2-} + 8H^+ \rightarrow 2dCr_3^+ + aCO_2 + (d+8d/2)\,H_2O$$

em que: $d = (2/3)a + (1/6)b - (1/3)c$

Para a caracterização química de um efluente é importante a:

- determinação da alcalinidade (determina o número de equivalentes de ácido forte para neutralizar a amostra até ao ponto de equivalência);
- determinação do pH (pois o pH de uma água residual permite verificar qual o seu carácter – ácido, neutro ou alcalino);
- determinação da condutividade (medida da capacidade de uma solução aquosa para transportar uma corrente eléctrica);
- determinação da dureza (determinante da espuma com sabão que leva à formação de incrustações nos recipientes e nas condutas);
- determinação do oxigénio dissolvido (determinante da

quantidade de carga de poluentes orgânicos existentes na amostra);

- determinação da Carência Bioquímica de Oxigénio (CBO) (permite quantificar o oxigénio necessário à oxidação da matéria orgânica decomposta por meio da acção aeróbia);
- determinação da Carência Química de Oxigénio (CQO) (permite a determinação de substâncias orgânicas e inorgânicas susceptíveis de serem oxidadas por acção de agentes oxidantes fortes).

<u>Caracterização Biológica</u>

- Determinação dos coliformes totais e fecais (é um indicador da quantidade de matéria orgânica);
- Determinação dos Streptococcus Fecais;
- Determinação dos Colesterídeos.

Os Coliformes actuam como indicadores de efluentes orgânicos, sendo expressos em densidade, ou seja, como o *número mais provável (NMP) em cada l00 mL*. O grupo coliforme inclui todos os bacilos aeróbios, anaeróbios ou facultativos. Indicam a presença de poluição fecal traduzindo-se como "risco potencial" quando encontrados nas águas.

A contagem dos coliformes totais corresponde ao total de microrganismos encontrados numa amostra e a dos coliformes fecais indica a quantidade dos microrganismos oriundos de excreções humanas, portanto com risco de serem possivelmente patogénicos.

De um modo geral as bactérias são encontradas no solo e em vegetais, algumas apresentam capacidade de se multiplicar na água com elevados teores de nutrientes. Outras, não se multiplicam com facilidade no ambiente externo, sendo pouco resistentes na água e comprovadamente de origem fecal. A detecção de *coliformes fecais* aponta a possível presença de microrganismos patogénicos, como a *Escherichia coli, a Salmonella typhi, o Vibrio cholerae, a Leptospira iceterohalmonhagie e Shigella sp*, além de vírus, protozoários e vermes. Nestes casos considera-se o sistema aquático, como contaminado.

Para a descarga de efluentes o Decreto-Lei nº 236/98 define valores limite de emissão. Os mais vulgarmente citados e analisados estão sintetizados na tabela 4.6.

Tabela 4.6: Valores limite de emissão (VLE) na descarga de águas residuais.

Parâmetros	Expressão de resultados	VLE
pH	Escala de Sorensen	6,0-9,0
Temperatura	ºC	Aumento de 3ºC
CBO_5, 20ºC	mg/L O_2	40
CQO	mg/L O_2	150
SST	mg/L	60
Cheiro	-	Não detectável na diluição 1:20
Cor	-	Não visível na diluição 1:20
Óleos e gorduras	mg/L	15
Fósforo total	mg/L P	10 3 (em águas que alimentem lagoas ou albufeiras) 0,5 (em lagoas ou albufeiras)
Nitratos	mg/L NO_3	50

4.3. Etapas de Tratamento de Águas Residuais

4.3.1. Classificação de Processos de Tratamento

"Os efluentes líquidos e os lixos provenientes de um aglomerado populacional tornam o ambiente e vizinhança dessa comunidade desagradável e doentio" (Novais, 2000) por isso um dos objectivos do tratamento das águas residuais urbanas é evitar um ambiente degradado e insalubre. Além disso visa a protecção do meio receptor natural.

Uma ETAR, ou seja, uma Estação de Tratamento de Águas Residuais, é certamente o destino mais adequado à promoção e defesa da saúde pública. A necessidade da sua construção surge quando o esgoto é lançado num meio que é utilizado como fonte de água potável ou mesmo quando se pretende que

o meio seja suporte de vida aquática. As ETAR reduzem a carga poluente das águas residuais que são devolvidas aos cursos de água (contribuindo para o equilíbrio dos ecossistemas aquáticos). Efectuam a depuração dos esgotos domésticos e industriais de modo a evitar a poluição dos cursos de água, lagoas, mar ou solo. A depuração consiste, fundamentalmente, na redução das substâncias em suspensão e na redução da carga orgânica, até limites aceitáveis de acordo com as características do meio receptor, e dos valores admissíveis e toleráveis especificados na legislação.

Uma ETAR, normalmente, é constituída por três linhas de tratamento: linha líquida, linha sólida (lamas) e linha de desodorização.

= Linha Líquida =

A linha de tratamento mais relevante respeitante à fase líquida, sendo possível classificar o processo global em 4 etapas sequenciais:

- Tratamento Preliminar;
- Tratamento Primário;
- Tratamento Secundário;
- Tratamento Terciário.

= Linha Sólida =

Em algumas ETAR[19] são produzidas lamas biológicas e químicas (resultantes da precipitação de fósforo) no decantador secundário.

As lamas mistas extraídas no decantador são misturadas com as lamas provenientes de outras instalações de tratamento e são sujeitas às seguintes etapas de tratamento:

- espessamento mecânico das lamas em excesso;
- digestão anaeróbia não aquecida, com tempo de retenção elevado para estabilização das lamas;
- desidratação das lamas digeridas por centrifugação com adição em linha de polielectrólito como condicionante químico, até um teor em sólidos mínimo de 27%;
- destino final em aterro sanitário controlado.

[19] Como é o caso da ETAR de Lamego.

= Linha de Tratamento de Odores =

É habitualmente constituída por um circuito de extracção de ar contaminado nas seguintes unidades de tratamento:

- edifício da obra de entrada;
- tanque de homogeneização;
- digestor anaeróbio;
- edifício de espessamento e de desidratação de lamas.

"A escolha de um sistema de tratamento é determinada por vários factores: características quantitativas e qualitativas das águas residuais, localização do sistema e objectivos de qualidade que se pretendem – imposição do grau de tratamento" [27].

Em termos de Decreto-Lei vem definido:

"Tratamento primário: tratamento das águas residuais urbanas por qualquer processo físico e/ou químico que envolve a decantação das partículas sólidas em suspensão, ou por outro processo em que a CBO_5 das águas recebidas seja reduzida de, pelo menos, 20% antes da descarga e o total das partículas sólidas em suspensão das águas recebidas seja reduzido de, pelo menos, 50%" (Decreto-Lei 152/97).

"Tratamento secundário: tratamento das águas residuais urbanas que envolve geralmente um tratamento biológico com decantação secundária ou outro processo que permita respeitar os valores constantes do quadro n.º 1 do anexo I[20]" (Decreto-Lei 236/98).

Como foi referido anteriormente o tratamento de águas residuais numa ETAR deve consistir em quatro fases, designadas por tratamento preliminar, primário, secundário e terciário, figura 4.1. O "tratamento terciário torna-se indispensável no caso do meio receptor onde é efectuada a descarga de água residual tratada ser um meio sensível, isto é, sujeito a eutrofização

[20] Citado no Enquadramento Legal.

(enriquecimento excessivo de algas devido à introdução de nutrientes - azoto e fósforo - provenientes da água residual), necessitando então que seja efectuada a remoção de nutrientes da água residual" [27].

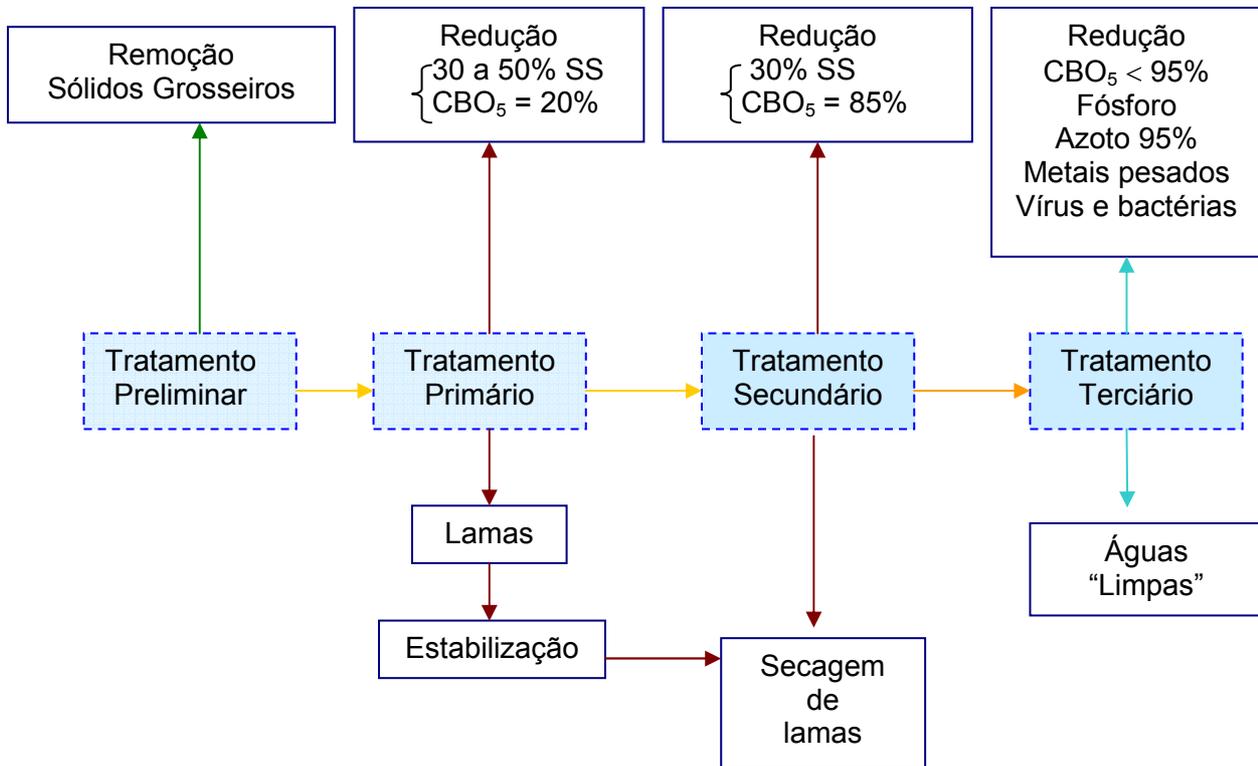



Figura 4.1: Síntese dos diferentes tipos de tratamentos e da redução da carência química nas águas residuais.[21]

Antes de se explicar com algum pormenor as diferentes fases que permitem o tratamento de águas residuais numa ETAR, convém sintetizar as várias etapas (figura 4.2) realizadas neste local.

[21] Esquema realizado com base no site http://www.ipv.pt/millenium/ect7_lpvc.htm.

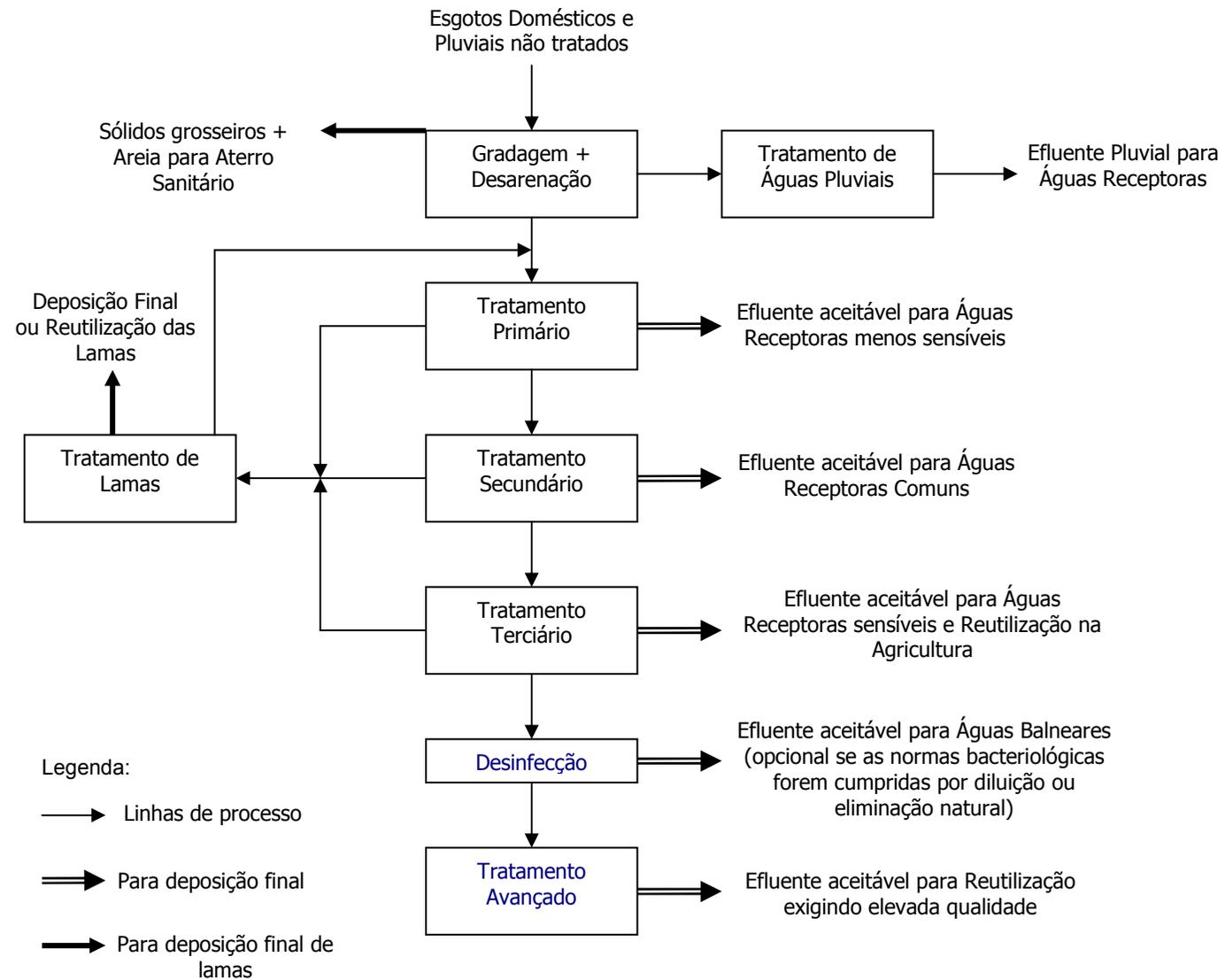



Figura 4.2: Diagrama esquemático de uma ETAR (Myers et al, 1996).

4.3.2. Tratamento Preliminar

Existem diversas operações com vista a facilitar os posteriores tratamentos aos quais se dá a designação de Tratamento Preliminar também designado de Pré-Tratamento. Este tratamento é físico e tem por objectivo:

- remover areias, óleos e gorduras de modo a proteger os órgãos de tratamento ajusante. Nos sólidos recebidos podem encontrar-se produtos de higiene pessoal, ramos de árvores, objectos de plástico, metal e outros detritos, flutuantes e suspensos, que entram nos sistemas de tratamento conjuntamente com os saibros e as areias presentes na água residual;
- atenuar grandes flutuações diárias de caudal.

Esta primeira fase de tratamento pode ser mais ou menos complexa consoante as operações que se realizarem. Após a entrada na ETAR o afluente bruto é sujeito às seguintes etapas: gradagem, trituração/dilaceração, desarenação, desengorduramento, regularização de caudal e homogeneização.

À saída do edifício de Pré-Tratamento mede-se o caudal que permite saber a quantidade de água residual que a ETAR trata diariamente.

4.3.2.1. Gradagem

Os efluentes domésticos chegam à ETAR através de uma extensa rede de tubagens. A primeira etapa de tratamento denomina-se de gradagem. A gradagem é caracterizada pela presença de grades (mecânicas ou manuais)[22] com aberturas de tamanho uniforme, figuras 4.3 e 4.4.

O líquido passa através destas grades e são retidos os sólidos de dimensões superiores às das aberturas. É necessário a limpeza destas grades com uma frequência regular. Caso contrário, o canal fica obstruído causando efeitos indesejáveis, como por exemplo, inundação do local. A principal função desta operação é proteger as bombas, válvulas e outros equipamentos do

[22] Existem ETAR onde se faz a gradagem grossa (grade de protecção) de limpeza manual, onde são removidos os sólidos de maiores dimensões e posteriormente realiza-se a gradagem fina mecânica de limpeza automática para remoção de sólidos de pequenas dimensões, facilitando a eliminação de detritos, sendo assim mais vantajoso.

choque de objectos pesados.

Geralmente nas ETAR de pequenas dimensões os detritos são removidos manualmente das grades usando ancinhos, mas nas ETAR de maiores dimensões são removidos mecanicamente.

Uma grade é constituída por barras paralelas, enquanto que um tamizador (processo também bastante comum) tem uma rede ou placa perfurada. Os tamisadores retêm sólidos de menores dimensões e tanto se podem utilizar à “cabeça” da estação como no final, para retirar os sólidos em suspensão do tratamento biológico.

Figura 4.3: Grelhas manuais (ETAR de Lamego).

Figura 4.4: Grelhas mecânicas (ETAR de Lamego).

Quando a limpeza destas grades é contínua e é efectuada por um pente mecânico que corre ao longo das grades. Depois é raspado e descarregado numa tela que descarrega estes resíduos num contentor (como se verifica na figura 4.5) que é conduzido, quando cheio, a um aterro sanitário.

Figura 4.5: Contentor (ETAR de Lamego).

Por vezes existe uma bacia de retenção (uma espécie de "sala de espera"), onde a água residual, vinda da primeira fase de limpeza (gradagem) aguarda para ser tratada. Isto acontece normalmente quando existe muita água a tratar.

4.3.2.2. Trituração/Dilaceração

A trituração ou dilaceração é um processo com o objectivo de reduzir o tamanho dos sólidos e que, para esse efeito, consiste numa série de trituradores ou dilaceradores, figura 4.6.

Figura 4.6: Triturador (ETAR de Lamego).

Triturador é um equipamento que consiste num tambor, que roda num eixo vertical, através do qual a água residual tem que passar do exterior para o interior.

Os gradados são retidos na superfície exterior do tambor, triturados por lâminas (a rotação dos cilindros provoca a dilaceração) e reduzidos a pedaços de pequenas dimensões, que por sua vez são conduzidos através das aberturas do cilindro.

Já sem resíduos de grandes dimensões, o efluente é enviado para um tratamento mais complexo (desarenação e desengorduramento) onde são retirados areia, gorduras e lamas.

4.3.2.3. Desarenação

A desarenação é uma forma rápida de sedimentação e é muito importante em Estações de Tratamento ligadas a redes unitárias, pois evita desgastes no equipamento e posteriores problemas de exploração. “Os desarenadores (figura 4.7) são projectados de forma a remover areia, cascalho, cinza e outros materiais sólidos pesados que têm velocidades de queda ou densidades superiores às dos sólidos orgânicos” (Bexiga, 2003).

Figura 4.7: Desarenador (ETAR de Lamego).

O desarenador será instalado antes de qualquer outro órgão de tratamento com a excepção das grades manuais ou mecânicas, em que a areia decantada é enviada para um classificador, onde são extraídas as areias. Existem três tipos gerais de desarenadores: canal horizontal, arejado e tipo *vortex* (desarenador com funcionamento hidráulico). Nos canais horizontais, o caudal passa pelo tanque numa direcção horizontal e a velocidade linear do líquido é controlada pelas dimensões da unidade e pelo uso de anteparos especiais no extremo de saída.

"O dimensionamento de um desarenador em canal horizontal deve ser tal que, sob as condições mais adversas, a partícula mais leve de areia atingirá o fundo do canal antes do extremo de saída" (Dordio, 2002). Normalmente pretende-se remover partículas a partir de 0,2 mm. O comprimento do canal será governado pela altura do líquido e pela secção de controlo. Na tabela 4.7 estão apresentados os valores típicos do desempenho deste tipo de desarenadores.

Tabela 4.7: Valores típicos do desempenho de um desarenador em canal horizontal (Adaptado de Dordio, 2002).

Tempo de detenção	60 s
Velocidade horizontal	0,3 m/s
Velocidade de deposição da areia (0,2mm)	1,15 m/min

Nos desarenadores do tipo arejado há um caudal em espiral que é controlado pelas dimensões e pela quantidade de ar fornecida. Estes promovem uma passagem do líquido em espiral e têm tempos de detenção da ordem dos 3 minutos ao caudal máximo, tabela 4.8.

Tabela 4.8: Valores típicos no desempenho de um desarenador arejado (Adaptado de Dordio, 2002).

Altura de água	2 a 5 m
Comprimento	7,5 a 20 m
Largura	2,5 a 7 m
Altura	1:1 a 5:1
Tempo de detenção	2 a 5 min
Ar	0,3 m^3
Areia e espumas	0,015 m^3/1000 m^3

Finalmente nos desarenadores tipo *vortex* (pista), figura 4.8, existe uma câmara circular com um poço central para acumulação da areia. O movimento circular da água no tanque é mantido a uma velocidade constante (0,3 a 0,4 m/s) por acção de um agitador. "As águas residuais entram tangencialmente e saem após uma volta quase completa" (Dordio, 2002).

Figura 4.8: Desarenador tipo vortex (ETAR de Lamego).

As areias retidas são normalmente "depositadas em contentores de 6 m^3 que, quando cheios, são transportados por um camião da própria ETAR para

aterro” (Bexiga, 2003). A entrada de areia para os tanques biológicos e de decantação vai reduzir gradualmente a capacidade desses mesmos tanques.

4.3.2.4. Desengorduramento

Nesta etapa as gorduras são separadas por flotação e removidas através de um raspador de superfície (figura 4.9), ou seja, a remoção de gorduras é feita à superfície do líquido por acção de raspadores superficiais e consiste na retenção de óleos, gorduras e outras substâncias menos densas, sólidos ou líquidos. Normalmente todos os subprodutos produzidos são armazenados em contentores estanques e evacuados para aterro sanitário.

A aplicação do processo de tratamento por flotação é tradicionalmente recomendada nos casos em que os sólidos presentes (em suspensão) apresentam uma velocidade de decantação baixa, em função do baixo peso específico, como ocorre no efluente gerado por indústrias de papel e celulose e pelo sector petroquímico. A flotação é aplicada também nos processos de Tratamento por Lamas Activadas, com o objectivo de adensar a lama.

Na flotação as substâncias não dissolvidas são sobrelevadas à superfície da massa líquida através de um impulso ascendente. Algumas substâncias suspensas no meio líquido possuem uma tendência natural para flutuar, caso haja redução na velocidade do fluxo. Mas a flotação de algumas substâncias só ocorre com aderência de microbolhas de ar nas partículas. Para que ocorra este fenómeno através da aderência de microbolhas de ar nas partículas, é necessário reduzir a tensão superficial da água através da adição de substâncias aglomerantes, que geram espuma. Em alguns sistemas, a espuma é gerada antes da fase de flotação, através da injecção de agentes floculantes (sulfato de alumínio ($Al_2(SO_4)_3$) e sulfato de ferro ($FeSO_4$)) no efluente. Com o objectivo de remover a espuma, a flotação pode ser efectuada através da introdução de ar difuso na massa líquida através do fundo do tanque de tratamento. Em resumo, a flotação é um processo de separação de sólido-líquido, que anexa o sólido à superfície de bolhas de gás fazendo com que ele se separe do líquido.

Figura 4.9: Desengordurador (ETAR de Lamego).

4.3.2.5. Regulação de Caudais e Homogeneização

Na parte de Tratamento Preliminar pretende-se também que exista uma certa regulação de caudais que, geralmente, é executada através do seu armazenamento numa bacia ou tanque de dimensões adequadas (figura 4.10). Este controle de caudais evita variações na carga orgânica e elevadas cargas de substâncias químicas, controla o pH do afluente e tem capacidade de armazenamento. Procedem-se também a operações de equalização e de homogeneização de águas residuais que visam "minimizar ou controlar flutuações no caudal e nas concentrações do efluente de forma a optimizar as condições dos processos de tratamento subsequentes" (Bexiga, 2003).

Figura 4.10: Regulação de caudais (ETAR de Lamego).

4.3.3. Tratamento Primário

O Tratamento Primário é um tratamento físico ou físico-químico e consiste fundamentalmente na remoção de partículas em suspensão. Neste tratamento procede-se ainda à separação de partículas líquidas ou sólidas através de processos de sedimentação e coagulação/floculação.

4.3.3.1. Sedimentação

A sedimentação (ou decantação) é uma operação física em que a separação das partículas é feita com base na diferença de densidade, de tamanho ou peso das partículas pelo efeito de uma corrente lenta de água e, geralmente, ocorre em dois decantadores primários de planta circular ou rectangular. Os sedimentadores, figura 4.11, estão equipados com raspadores que recolhem à superfície os sobrenadantes para uma caleira existente à superfície e são reconduzidos ao Pré-Tratamento.

São utilizados principalmente três tipos de tanques: rectangular (de fluxo horizontal), circular (de fluxo axial) e de fluxo ascensional.

Na sedimentação as partículas sólidas em suspensão sedimentam por gravidade até ao fundo do tanque durante um período de algumas horas e a água é decantada através de uma antepara para eliminar flutuantes tais como óleos e gorduras. O fundo destes decantadores tem uma inclinação ligeira e as velocidades de passagem dos resíduos são controladas para que o processo seja estático o suficiente para ocorrer sedimentação.

Os sólidos removidos do fundo do sedimentador são lamas denominadas de primárias e são constituídas por cerca de 5% de matéria seca e 95% de água.

Os sedimentadores primários (assim denominados) funcionam em paralelo e têm a função de remover a maior parte da matéria orgânica.

Figura 4.11: Sedimentador, vista geral (ETAR de Lamego).

4.3.3.2. Coagulação/Floculação

A coagulação tem como principais funções a desestabilização, agregação e adesão de partículas em suspensão coloidal e é um processo químico que usa, habitualmente, sulfato de alumínio e cloreto de ferro como coagulantes e polielectrólitos.

Os coagulantes são sais que, em solução, libertam espécies químicas de alumínio ou ferro com elevada densidade de cargas eléctricas, de sinal contrário às manifestadas pelas partículas presentes na “água bruta”,

eliminando, assim, as forças de repulsão electrostática originalmente aí presentes.

As principais reacções que ocorrem são:

$$Al_2(SO_4)_3 + 6H_2O \rightleftharpoons 2Al(HO)_3 + 6H^+ + 3SO_4^{2-}$$

$$FeSO_4 + 2H_2O \rightleftharpoons Fe(HO)_2 + 2H^+ + SO_4^{2-} \text{ (rigorosa)}$$

A floculação é um processo mecânico que visa aglutinar as partículas pequenas coaguladas promovendo o aumento da dimensão de núcleos de coagulação/precipitação presentes na água em tratamento.

Nesta fase promove-se uma agitação constante do líquido de forma a aumentar a probabilidade de contacto entre os núcleos de precipitação, o que levará a que ocorra formação de agregados ou flocos a partir do material finamente dividido.

4.3.4. Tratamento Secundário

O Tratamento Secundário é também designado por Tratamento Biológico e caracteriza-se pela acção de microrganismos que coagulam e removem as partículas coloidais, estabilizam a matéria orgânica e eliminam uma percentagem de sólidos em suspensão. Destina-se à remoção dos compostos de natureza orgânica e, por vezes, dos nutrientes (azoto e fósforo) existentes na água residual.

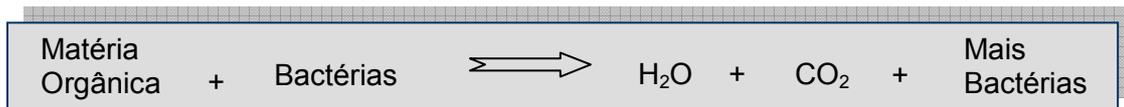
Para que melhor se compreenda o modo como se processa este tratamento será importante recordar um pouco daquilo que é a microbiologia. Os microrganismos presentes nas águas residuais utilizam os constituintes presentes nestas, metabolizando-os, de modo a sintetizarem material celular para o seu próprio crescimento e produzirem energia para os processos vitais, como por exemplo, a locomoção e a reprodução.

Em consequência desta actividade metabólica dos microrganismos, os

compostos poluentes das águas são transformados noutros compostos mais simples e inofensivos.

Os Tratamentos Biológicos podem classificar-se de acordo com o tipo de ambiente bioquímico desenvolvido: aeróbio (como a digestão aeróbia), anaeróbio (como digestão anaeróbia) ou anóxico (usam nitritos e sulfitos e carecem de oxigénio).

Na digestão aeróbia os produtos finais encontram-se num estado de oxidação superior aos da degradação anaeróbia e por isso num nível de energia mais baixo, o que os torna mais estáveis. Os produtos finais da matéria orgânica carbonosa são dióxido de carbono e água. O azoto orgânico (proteínas) é oxidado a nitrato e o enxofre orgânico é transformado em sulfato.

Traduzindo por uma equação de palavras:

No metabolismo anaeróbio os produtos são CH_4 e CO_2, existindo transformação do amoníaco a azoto orgânico.

O aspecto comum a estes dois processos de actividade metabólica prende-se com o facto do ataque dos microrganismos às moléculas dos compostos orgânicos se processar por acção das enzimas, que eles próprios produzem.

O Tratamento Biológico pode ocorrer em meio fixo (sistemas de biomassa fixa) como é o caso dos processos por Leitos Percoladores e Discos Biológicos ou em meio disperso (sistemas de biomassa suspensa) como é o caso dos processos por Lamas Activadas e por Lagunagem.

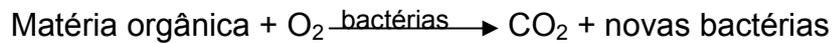
4.3.4.1. Tratamento Aeróbio

a) Sistema de Lamas Activadas

O processo de Lamas Activadas foi descoberto em 1914. O sistema de lamas activadas baseia-se na oxidação de compostos orgânicos e inorgânicos que se levam a cabo por uma população microbiana diversificada, complexa e

em competição constante, mantida em suspensão num meio aeróbio sob a forma de flocos biológicos.

Reacção genérica do processo de lamas activadas:

$$\text{Matéria orgânica} + O_2 \xrightarrow{\text{bactérias}} CO_2 + \text{novas bactérias}$$

Este sistema, de biomassa suspensa, implica a necessidade de se ter um tanque com agitação do efluente, mantendo os respectivos flocos em suspensão. O efluente orgânico é introduzido no reactor biológico (contínuo com agitação e recirculação) onde se mantém uma cultura bacteriana em suspensão. O conteúdo do reactor é conhecido como licor misto (LM). O ambiente aeróbio é conseguido usando arejamento mecânico ou por difusores, o que também serve para manter o licor num regime de mistura completa.

Depois de um período de tempo especificado, a mistura das células vai para o tanque de sedimentação onde são separadas do efluente tratado. Parte das células depositadas é reciclada para manter a concentração desejada de organismos no reactor, havendo uma outra parte que é separada e que corresponde ao crescimento celular.

"Neste ecossistema vivo artificial, cada microrganismo tem uma taxa de crescimento própria, dependendo de factores bióticos (predação, comensalismo, competição, velocidade de absorção do substrato, resistência a condições adversas e necessidade de oxigenação) e abióticos (natureza e composição da água residual, pH, temperatura, carga orgânica, idade das lamas, arejamento, tempo de retenção celular, configuração do sistema e padrão de alimentação)" (Bexiga, 2003).

Num sistema de Lamas Activadas, figura 4.12, existem "factores que influenciam a intensidade de depuração: temperatura, duração do arejamento, quantidade de ar, proporção de lamas e respectiva actividade e concentração do efluente" (Bexiga, 2003).

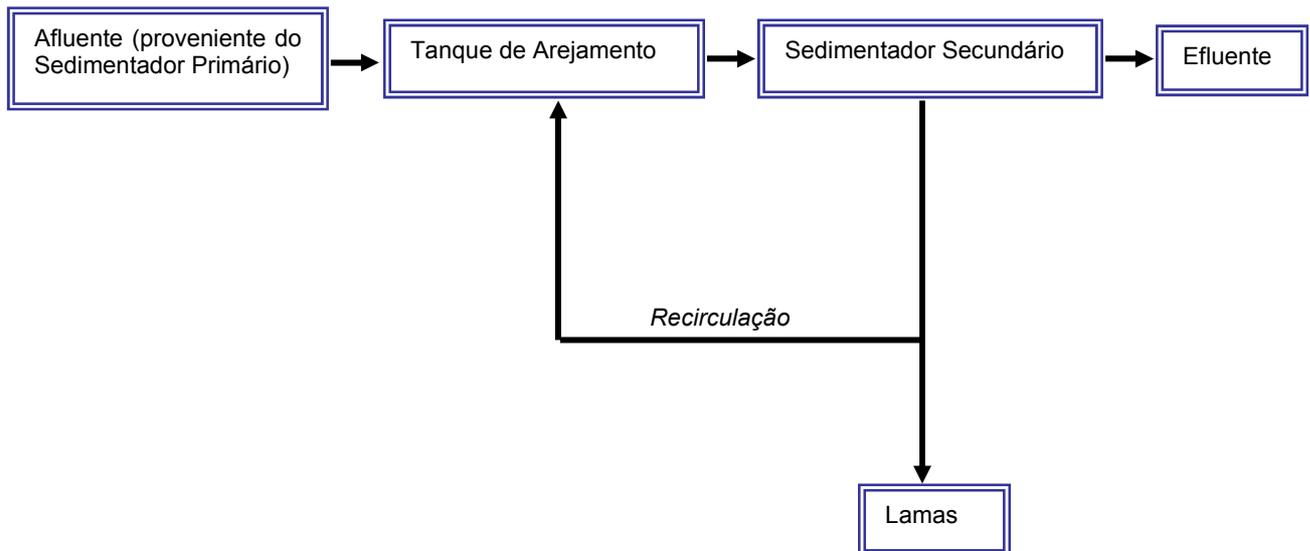



Figura 4.12: Processo de Lamas Activadas.

b) Sistema de Leitos Percoladores

Os leitos percoladores também conhecidos como filtros biológicos (apesar de este nome ser considerado pouco apropriado), leitos de bactérias ou filtros percoladores. O processo não filtra a água residual apenas conduz essa água ao contacto com o filme de microrganismos que cresce à superfície de pequenas pedras, ou de material plástico contido no leito em várias profundidades.

O Tratamento Secundário pelo processo de leitos percoladores (figura 4.13) é uma das formas mais antigas de tratamento biológico e baseia-se na existência de um meio permeável, ao qual se vão ligar os microrganismos, e através do qual o efluente escorre. É um processo aeróbio em que o oxigénio é fornecido por ventilação natural do meio poroso do material de percolação (um tanque cheio de material inerte[23], por entre o qual se escoa o líquido a tratar).

A água residual proveniente do sedimentador primário é lançada por um dispositivo mecânico (um distribuidor rotativo “tipo-chuveiro”) sobre a superfície do material de percolação. O efluente escoa pelo meio desse material e à medida que se dá o escoamento dá-se a assimilação de matéria orgânica por parte de um filme biológico constituído por um aglomerado de bactérias.

[23] Brita: pedras com tamanhos entre 25 e 100mm de diâmetro.

Os filtros percoladores com enchimento de plástico são em geral, de secção circular com alturas de 6 a 12 metros.

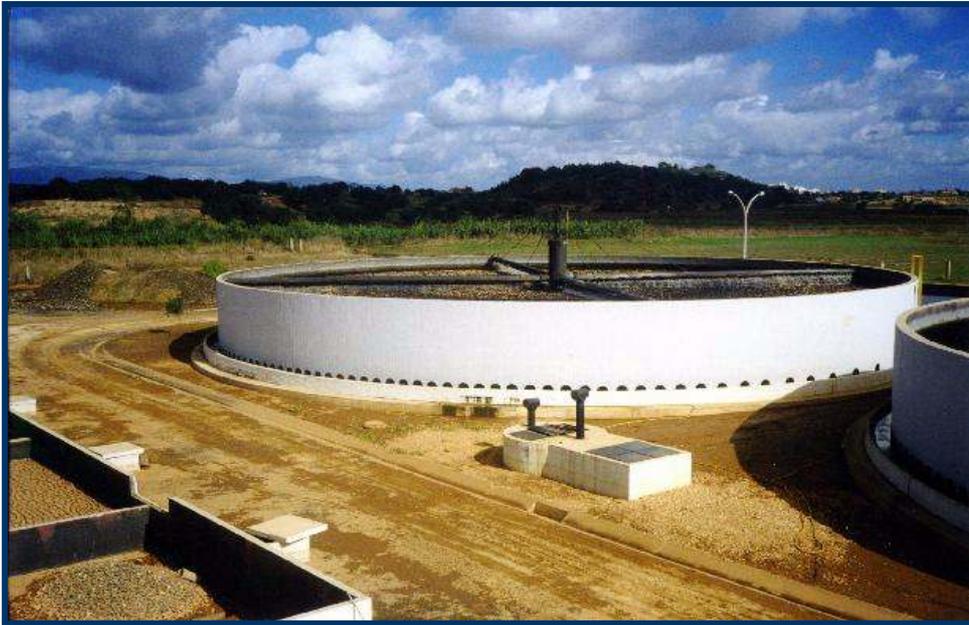



Figura 4.13: Leito Percolador (ETAR de Portalegre).

O filtro percolador é constituído por um leito que pode ser de pedras, ripas ou material sintético (normalmente plástico). Nos leitos percoladores o tempo de permanência das águas residuais é curto e o caudal máximo é da ordem dos 0.6 $m^3/m^2/h$.

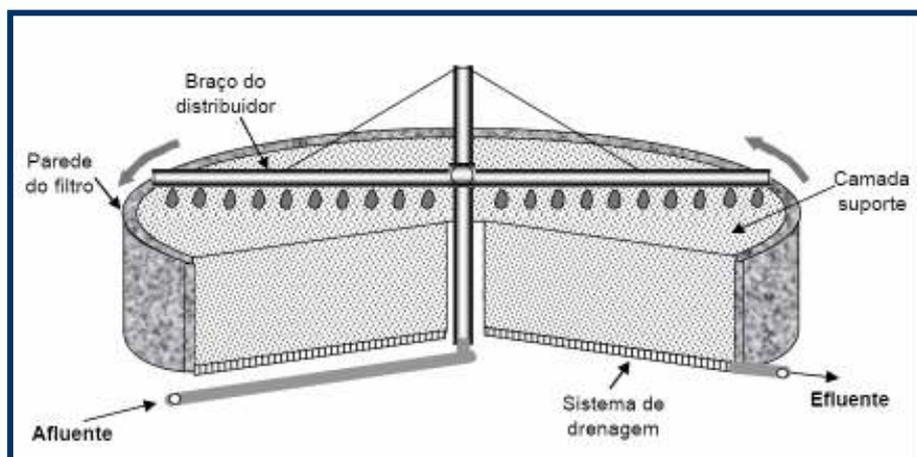



Figura 4.14: Secção típica de um filtro percolador.[24]

[24] Imagem retirada de: http://www.coc.ufrj.br/teses/mestrado/inter/2005/Teses

c) Discos Biológicos[25]

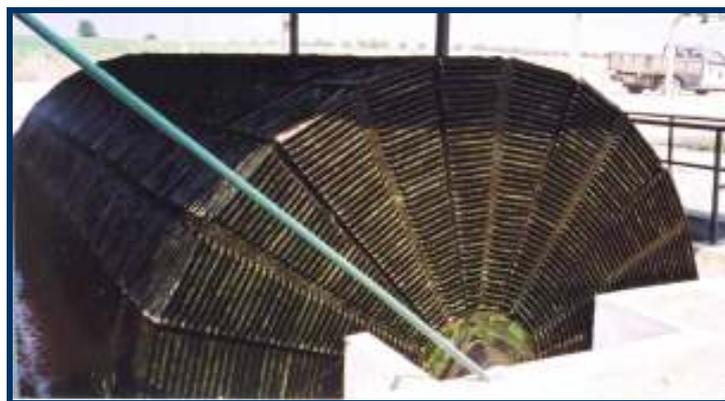



Figura 4.15: Pormenor do Biodisco da ETAR de Cuba.

"Os discos biológicos, figura 4.15, consistem numa série de discos de plástico circulares rotativos dispostos diametralmente em torno de um eixo. [Cerca de 40% da sua superfície está submersa na água residual servindo de habitat à biomassa microbiana]. A rotação dos discos alterna o contacto desta biomassa com a matéria orgânica (quando mergulhada na água residual) e com a atmosfera com absorção de oxigénio (quando emerge)" (Bexiga, 2003), o que promove um arejamento natural do efluente. Esta rotação dá-se, normalmente, a uma velocidade de 1 rpm, ou seja, uma velocidade reduzida que não provoca a ocorrência de turbulência mantendo os sólidos em suspensão. Isto constitui um motivo pelo qual estes sistemas devem ser precedidos por um decantador primário (ou por outro sistema eficiente de filtração). O biofilme (filme biológico) é oxidado quando o filme sai do líquido e fica em contacto com o ar. Durante este processo as células microbianas absorvem e assimilam o oxigénio do ar em quantidade suficiente para degradar a matéria orgânica (que se encontra na água) a substâncias minerais decantáveis formando-se, também, novas células que se reagrupam em flóculos ou que se integram no filme biológico formando uma película que vai aderir ao disco. O filme biológico aderente aos discos vai aumentando de espessura, desenvolvendo-se nas camadas interiores em condições de anaerobiose que provocam o desprendimento de partículas deste filme. O excesso de filme desprende-se e é arrastado pelo líquido.

[25] Também designados por Bio-Discos.

4.3.4.2. Tratamento Anaeróbio

O tratamento anaeróbio é um processo segundo o qual, algumas espécies de bactérias, que actuam na ausência de oxigénio, atacam a estrutura de materiais orgânicos complexos, para produzir compostos simples: metano, dióxido de carbono, água, etc, extraindo em simultâneo, a energia e os compostos necessários para o seu próprio crescimento.

Este processo é quase exclusivamente usado para o tratamento de águas residuais muito concentradas e para os processos de desnitrificação.

A transformação da matéria orgânica em diversas substâncias químicas, no decurso da fermentação anaeróbica, processa-se através de uma cadeia de degradações sucessivas devidas a diferentes tipos de bactérias. Essencialmente distinguem-se duas fases: na primeira fase dá-se a transformação das moléculas orgânicas em ácidos gordos, sais ou gás; na segunda fase ocorre a transformação destes últimos numa mistura gasosa essencialmente constituída por metano e dióxido de carbono.

4.3.5. Tratamento Terciário

Normalmente este tipo de tratamento é levado a cabo quando se pretende uma determinada utilização da água proveniente da ETAR pois melhora a qualidade do efluente final. Por isso é, muitas vezes, definido como um "tratamento adicional para a remoção de substâncias em suspensão ou dissolvidas, que persistam após tratamento secundário" (Bexiga, 2003).

O tratamento terciário consiste na desinfecção das águas residuais com recurso, por exemplo, a cloro, ozono ou radiação ultra-violeta (UV), de modo a permitir a sua posterior reutilização, por exemplo, como água de serviço. O grau de tratamento dado ao efluente tratado permite que o mesmo possa ser reaproveitado para determinados usos que não necessitem de água potável. Assim parte do efluente tratado é armazenado numa cisterna para alimentar a rede de água de serviços da ETAR. A água de serviço é utilizada, por exemplo, nas lavagens das etapas do tratamento preliminar, do tratamento de lamas e da desinfecção, podendo ser usada também na rega dos espaços verdes da

ETAR. O efluente final tratado pode então ser descarregado nos rios, em condições de assegurar o cumprimento das normas ambientais e a protecção dos recursos hídricos.

O tratamento terciário pode incluir vários processos como: coagulação/floculação, filtração, adsorsão e desinfecção.

4.3.5.1. Coagulação/Floculação

No processo de coagulação/floculação está envolvida a adição de produtos químicos (sulfato de alumínio, sulfato de ferro, cal, cloretos de ferro) que alteram o estado físico das partículas sólidas que se encontram dissolvidas ou em suspensão. Ao provocarem essa alteração facilitam a sua remoção por sedimentação.

Sulfato de alumínio (figura 4.16)**:**

$$Al_2(SO_4)_3.18H_2O + 3Ca(HCO_3)_2 \rightleftharpoons 3CaSO_4 + 2Al(OH)_3 + 6CO_2 + 18H_2O$$

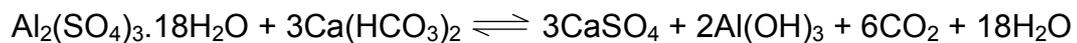



Figura 4.16: Recipiente com sulfato de alumínio (ETAR de Lamego).

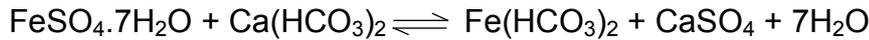
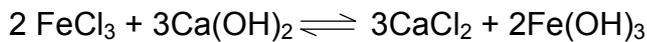
Sulfato de ferro:

$$FeSO_4.7H_2O + Ca(HCO_3)_2 \rightleftharpoons Fe(HCO_3)_2 + CaSO_4 + 7H_2O$$

$$Fe_2(SO_4)_3 + 3Ca(OH)_2 \rightleftharpoons 3CaSO_4 + 2Fe(OH)_3$$

Cloreto de ferro:

$$FeCl_3 + 3H_2O \rightleftharpoons Fe(OH)_3 + 3H^+ + 3Cl^-$$

$$2\ FeCl_3 + 3Ca(OH)_2 \rightleftharpoons 3CaCl_2 + 2Fe(OH)_3$$

4.3.5.2. Filtração

A filtração é um processo de remoção de partículas finas em suspensão contidas ainda no efluente do sedimentador secundário.

Os mecanismos de filtração em areia e a retenção de partículas podem dever-se a fenómenos diversos: impacto, deposição gravítica, interacção com o material filtrante e crescimento de microrganismos no meio filtrante.

Na tabela 4.9 referem-se alguns processos de membrana consoante o tamanho das partículas, entre outras características.

Tabela 4.9: Processos de membrana consoante o tamanho das partículas separadas, peso molecular aproximado e diferença de pressão transmembranica (Adaptado de Hackner, 2003).

Processo	Tamanho das partículas	Peso molecular aproximado	Diferença de pressão transmembranica
Microfiltração	> 0,6 μm	> 500.000 Da	1 – 3 bar
Ultrafiltração	0,1 – 0,01 μm	1.000 – 500.000 Da	1 – 6 bar
Nanofiltração	0,01 – 0,001 μm	100 – 1.000 Da	Até 10 bar
Osmose inversa	< 0,001 μm	< 100 Da	Até 200 bar

a – Dalton

Distinguem-se dois tipos de membranas de separação líquido/líquido:

- membranas de poros na ultra e microfiltração;

- membranas de solução.

As membranas de poros funcionam segundo o princípio de um filtro. “Têm poros, através dos quais solventes e moléculas pequenas passam na forma de permeado, enquanto que as partículas coloidais e algumas macromoléculas são retidos” (Hackner, 2003).

Para o processo de separação por membrana “é especialmente problemático a conhecida *dead-end-filtration*, na qual se forma um chamado bolo de filtrado de partículas insolúveis, mantendo um efeito de filtração” (Hackner, 2003). O caudal reduz até ao ponto em que a membrana entope o que implica, depois, uma necessária limpeza que fica dispendiosa.

4.3.5.3. Adsorção

A adsorção é o processo de remoção de substâncias solúveis utilizando uma interface apropriada. Em geral utiliza-se adsorção por carvão activado uma vez que este processo tem vantagens económicas devido à possibilidade de regeneração do filtro de carvão após a sua utilização, figura 4.17.

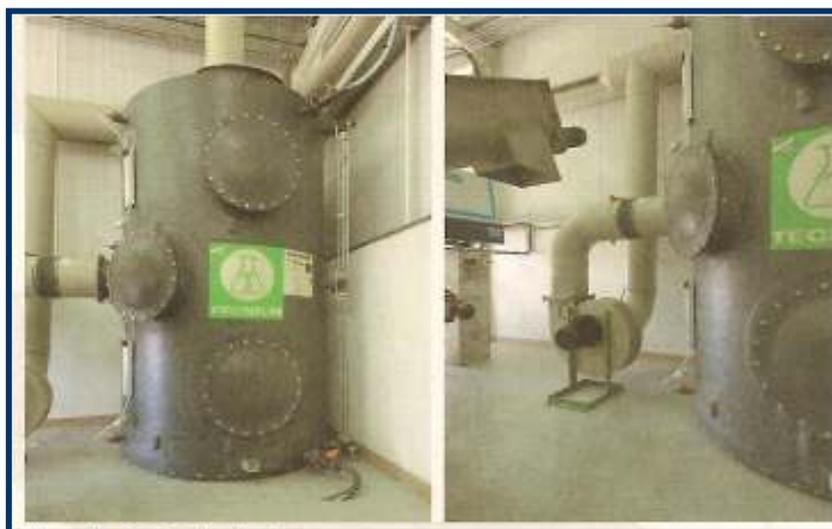



Figura 4.17: Filtro de carvão activado (ETAR de Alijó).

4.3.5.4. Desinfecção

A desinfecção define-se como a "destruição de organismos patogénicos". Com a desinfecção eliminam-se todos os microrganismos patogénicos existentes na água que se pode destinar ao abastecimento público. A desinfecção é normalmente o último dos tratamentos a que a água se submete.

"Na selecção do método de desinfecção consideram-se os seguintes factores: eficiência; custo de investimento; custo de operação e manutenção; facilidade de aplicação; segurança; impacto ambiental e formação de substâncias carcinogénicas" (Dordio, 2002).

O processo mais vulgar de desinfecção é a adição de cloro (empregue em cerca de 80% dos casos), que tem como vantagem ser eficaz, económico e fácil de aplicar. O inconveniente do seu uso é a formação de trialometanos. Os trialometanos são compostos que se formam durante o processo de tratamento das águas destinadas ao consumo humano, sendo subprodutos da desinfecção. A reacção dá-se entre o cloro utilizado para a desinfecção e a matéria orgânica presente na "água bruta" que vai sofrer o processo de tratamento. As substâncias que se formam são variadíssimas sendo as principais: o clorofórmio, o bromodiclorometano, o dibromoclorometano e o bromofórmio.

"Existem diversos compostos de cloro, que podem ser usados com fins desinfectantes, entre os quais se salientam os hipocloritos de sódio e cálcio; o cloro gasoso e o dióxido de cloro.

A eficiência da cloragem depende de:

- pH;
- temperatura,
- grau de mistura;
- tempo de contacto;
- natureza e concentração dos microrganismos;
- tipo e concentração das espécies cloradas (compostos orgânicos, partículas em suspensão, amónia)" (Dordio, 2002).

Mas há ainda que referir o uso do ozono e o peróxido de hidrogénio que "são os oxidantes mais "limpos" para o tratamento de águas residuais visto que se convertem em água e oxigénio depois das reacções. O ozono é o oxidante

molecular mais poderoso para o tratamento de águas (2.07 V de potencial). O peróxido de hidrogénio, apesar do seu elevado potencial de redução (1.77 V), é um fraco oxidante por si só" (Dordio, 2002).

De acordo com alguns autores o ozono é, sem dúvida alguma, o oxidante mais adequado para a oxidação química de águas residuais dado que é gerado "in situ" o que, consequentemente, evita problemas de segurança relacionados com o transporte e o armazenamento de químicos associados a outros oxidantes. Além disso, o ozono é muito menos tóxico que outros oxidantes: é apenas ligeiramente irritante a 1000 ppm (v/v) no ar durante 30 segundos de exposição enquanto que, nas mesmas condições, o cloro é fatal[26].

Uma vez dissolvido na água, o ozono reage rapidamente com os contaminantes que por ele podem ser oxidados, através de um mecanismo designado por *ozonização directa*.

A desinfecção das águas residuais com radiação ultra-violeta (UV), figura 4.18, apresenta a vantagem de não provocar qualquer efeito nocivo na água residual, nem apresentar riscos operacionais significativos.

Figura 4.18: Desinfecção com UV (ETAR de Lamego).

[26] Na história de aplicação do ozono, de quase 100 anos, não há registos de quaisquer acidentes fatais.

4.3.6. Tratamento e deposição final de lamas

As lamas são os subprodutos mais significativos resultantes do processo de tratamento das águas residuais numa ETAR. Correspondem a um concentrado de materiais sólidos que apresentam: um conteúdo físico-químico e bacteriológico heterogéneo e uma elevada percentagem de água (cerca de 0,25% a 12% de peso em matéria sólida), resultante das diferentes características das águas e dos processos de tratamento que as originam.

As lamas podem distinguir-se em lamas primárias ou secundárias, consoante resultem de sedimentação primária ou de sedimentação secundária. A avaliação das quantidades de lamas primárias e de lamas biológicas em excesso pode ser efectuada com base nos valores da tabela 4.10.

Tabela 4.10: Quantidades e características das lamas (Metcalf, 1991).

Tipos de lamas	% sólidos	Quantidades
Primárias	---------	$\frac{2}{3}$ dos SS (esgoto doméstico)
Lamas activadas - arejamento prolongado - convencional - alta carga - mais primárias	 1,5 - 2,0 1,0 - 1,5 0,8 - 1,2 2,0 -6,0	 0,4 kg/kg CBO_5/d 0,8 kg/kg CBO_5/d 1,2 kg/kg CBO_5/d (primárias e biológicas calculadas separadamente)
Leitos percoladores - s/ recirculação - c/ recirculação	 4,0 - 6,0 2,0 - 5,0	 0,02 kg/hab/d 0,03 kg/hab/d

Os subprodutos do tratamento de águas residuais devem ser depositados de uma forma que seja aceitável e económica. A saúde pública não deve ser afectada negativamente e o impacto ambiental deve ser aceitável. Sendo assim o tratamento de lamas e a sua deposição final envolvem, normalmente, as

seguintes fases de tratamento: a) espessamento; b) estabilização; c) desidratação; d) secagem/incineração; e) reutilização/reciclagem; f) deposição final.

a) Espessamento

O espessamento visa a remoção de água das lamas de modo a conseguir-se uma redução de volume. O material resultante é ainda um fluido, mas com uma concentração de sólidos mais elevada. O processo de espessamento deve ser integrado em qualquer sistema de tratamento. O espessamento é geralmente efectuado por meios físicos: espessamento gravítico, espessamento por centrifugação e espessamento por flotação.

b) Estabilização

A estabilização consiste num processo de alteração das lamas, cujos principais objectivos são:

- redução do teor em matéria orgânica putrescível;
- redução de microrganismos patogénicos;
- eliminação de odores ofensivos.

As principais alternativas de estabilização são:

i) *Adição de cal:*

A estabilização química das lamas com cal conduz a um aumento do pH $\geq$ 12, à morte da maior parte dos microrganismos e à redução de maus odores.

As lamas tratadas com cal são frequentemente atractivas para os agricultores, como condicionador dos solos, especialmente para aqueles que têm solos ácidos.

ii) *Redução biológica (aeróbia e anaeróbia) do conteúdo em sólidos voláteis:*

A digestão anaeróbia envolve a decomposição de matéria orgânica e inorgânica, na ausência de oxigénio livre. Durante estas reacções liberta-se energia e a maior parte da matéria orgânica é transformada em metano,

dióxido de carbono e água. A pequena quantidade de carbono e energia disponíveis para sustentar a actividade biológica, torna os restantes sólidos estáveis.

A estabilização através da digestão anaeróbia apresenta as seguintes vantagens, em relação a outros processos de estabilização:

- produção de metano (CH_4), útil como fonte de energia;
- reduz a massa total das lamas (o volume para deposição final), tipicamente 25% a 45% dos sólidos contidos nas lamas;
- produz um resíduo sólido adequado ao uso correctivo do solo (permite a reutilização das lamas estabilizadas);
- inactiva patogénicos (diminui o poder de putrefacção das lamas).

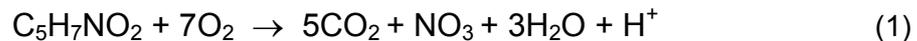
As principais desvantagens associadas a este processo são:

- custo elevado;
- grande sensibilidade a variações das cargas poluentes;
- produção de subprodutos (sobrenadante) de fraca qualidade;
- mantém um crescimento lento das bactérias responsáveis pela produção de metano;
- limitada em termos de aplicabilidade (processo de estabilização exequível em lamas com uma concentração baixa de toxinas e uma concentração em sólidos voláteis superior a 50%).

A digestão aeróbia das lamas de ETAR consiste na sua estabilização bioquímica na presença de oxigénio, em tanques fechados ou abertos, que são separados do restante processo da fase líquida. Pode ser utilizada no tratamento de: lamas activadas; mistura de lamas activadas ou de lamas de leitos percoladores e lamas primárias; lamas de estações de arejamento prolongado e lamas activadas provenientes de estações de tratamento sem decantação primária.

Durante o processo de digestão aeróbia, uma parte do tecido celular é oxidado sob condições aeróbias a dióxido de carbono, água e amónia (cerca de 75% a 80%). A outra parte, 20% a 25%, corresponde a componentes inertes e compostos orgânicos que não são biodegradáveis. A amónia proveniente desta oxidação é posteriormente oxidada a nitrato, com o decorrer do processo de digestão.

A equação (1) ilustra a equação geral da reacção:

$$C_5H_7NO_2 + 7O_2 \rightarrow 5CO_2 + NO_3 + 3H_2O + H^+ \qquad (1)$$

Como se verifica pela expressão (1) pode ocorrer uma redução de pH quando a amónia é oxidada a nitrato se a alcalinidade da água residual não for suficiente para compensar a descida de pH. Quando tal acontecer poderá ser necessária a adição de reagentes químicos para manter o pH desejado.

Quando comparada com a digestão anaeróbia, a digestão aeróbia apresenta as seguintes vantagens:

1) operação relativamente fácil;

2) redução de sólidos voláteis igual ou superior à obtida através da digestão anaeróbia;

3) concentrações de CBO inferiores no líquido sobrenadante;

4) obtenção de um produto final inodoro e biologicamente estável;

5) obtenção de valores mais elevados de fertilizante básico nas lamas;

6) custo mais baixo;

7) redução significativa do número de microrganismos patogénicos; em sistemas de auto aquecimento pode atingir-se uma destruição total das mesmas.

As principais desvantagens associadas à digestão aeróbia são as seguintes:

1) elevado custo energético associado à necessidade de oxigénio, mesmo em pequenas estações;

2) as lamas resultantes apresentam fracas características mecânicas de desidratação;

3) o processo varia significativamente com a temperatura, localização e tipo de material com que é construído o tanque;

4) não há recuperação de um subproduto com utilidade como o metano.

iii) *Aplicação de calor para desinfectar ou esterilizar as lamas:*

Este processo funciona, em simultâneo, como processo de estabilização e

condicionamento químico sendo, na maioria dos casos, encarado como processo de condicionamento. É, no entanto, descrito nesta secção devido à sua função de estabilização.

O tratamento térmico é um processo contínuo através do qual as lamas são aquecidas sobre pressão, a temperaturas acima dos 260ºC e a pressões acima dos 2760 kN/m^2, por curtos períodos de tempo (30min aproximadamente).

Quando as lamas são sujeitas a elevadas temperaturas e pressões, a actividade térmica dá origem à coagulação dos sólidos.

O processo de **compostagem** envolve a destruição biológica de material orgânico associada à produção de ácido húmico, dando origem a um produto final estável.

Aproximadamente 20% a 30% dos sólidos voláteis são convertidos em dióxido de carbono e água. À medida que o material orgânico presente nas lamas se decompõe o composto atinge temperaturas da ordem dos 50ºC a 70ºC, destruindo organismos patogénicos entéricos.

Material sujeito a compostagem apresenta-se como um material inofensivo, podendo ser utilizado como correctivo do solo na agricultura ou horticultura, com algumas restrições causadas por eventuais constituintes das lamas.

A operação de compostagem envolve a adição de um agente estruturante, que pode ser posteriormente recuperado, como a serradura.

c) Desidratação

A desidratação das lamas consiste na remoção de água das mesmas com vista a uma redução de volume maior do que a obtida através do espessamento. Procede-se à desidratação essencialmente para diminuir os custos de operação de tratamentos posteriores.

Existem diversos tipos de sistemas de desidratação, sendo os mais comuns os sistemas naturais e os sistemas mecânicos.

A escolha do processo deve ser efectuada tendo em conta as características das lamas a secar, as características do produto seco e do espaço disponível. Algumas lamas, particularmente as lamas digeridas não são facilmente desidratadas por processos mecânicos.

Quando existe terreno disponível a desidratação das lamas por processos naturais constitui uma hipótese bastante atractiva, do ponto de vista económico. Existem dois tipos principais de sistemas naturais de desidratação: leitos de secagem e lagoas de secagem.

Entre os diversos sistemas não naturais de desidratação de lamas destacam-se os seguintes:

i) Desidratação por centrifugação

ii) Desidratação por filtração

Os sistemas naturais de desidratação de lamas permitem atingir uma concentração de sólidos nas lamas superior aos meios mecânicos, de aproximadamente 50% de sólidos. Os meios mecânicos permitem apenas atingir 20% a 30% de concentração de sólidos. Esta diferença é essencialmente resultado do tempo de residência das lamas em cada um dos sistemas, que é de horas no caso dos meios mecânicos e dias, ou mesmo meses, no caso dos meios naturais.

d) Secagem / Incineração

A secagem térmica consiste no processo de evaporação da água das lamas por meios térmicos.

O processo de secagem dá-se em três etapas bem definidas:

- Secagem inicial: durante esta primeira fase a temperatura e a taxa de secagem aumentam até ao estado estacionário; é geralmente uma fase curta onde ocorre pouca desidratação.

- Estado estacionário da secagem: consiste na etapa mais prolongada do processo de secagem em que a superfície das partículas das lamas estão saturadas em água; à medida que a água vai evaporando há um movimento de água do interior das partículas para a superfície, não havendo grande influência do sólido na taxa de evaporação.

- Secagem final: esta fase é atingida quando já se evaporou uma quantidade de água suficiente para que a superfície das partículas não fique saturada em água; como o processo de evaporação é mais rápido do que a transferência de água do interior das partículas para a superfície, a taxa de secagem nesta fase é mais baixa do que na fase anterior.

O teor em vapor de água atingido após desidratação depende do processo de desidratação, do conteúdo de água na lama antes da desidratação e da composição química da mesma. De um modo geral, para lamas resultantes do tratamento de águas residuais domésticas, é possível obter um teor em vapor de água entre 5% e 10%. Este processo produz, para além das lamas desidratadas, um gás que é libertado para a atmosfera e, por vezes, um subproduto líquido. O gás pode ser uma fonte de maus odores e emissões visíveis (cinzas), sendo por vezes necessário proceder-se ao seu tratamento. O subproduto líquido este é, por vezes recirculado para o início do tratamento da fase líquida ou, quando necessário, tratado separadamente.

e) Reutilização / Reciclagem

Mais do que um mero subproduto a lançar no ambiente, há muito tempo que as lamas são encaradas como um recurso, devido ao facto de conterem nutrientes que promovem o crescimento de plantas. Os nutrientes incluem azoto, fósforo, potássio e outros minerais. A presença de matéria orgânica e humidade é também um valor potencial.

São consideradas como hipóteses de reutilização

a) Aplicação na agricultura como fonte de nutrientes

b) Aplicação no solo como correctivo

A utilização de lamas de ETAR na agricultura é uma prática corrente que proporciona aos agricultores um fertilizante - estrume orgânico de grande valor.

A aplicação no solo para correcção do mesmo, bem como a aplicação na agricultura - estão condicionadas pelas características dos solos e das lamas.

As lamas resultantes do tratamento de águas residuais são geralmente ricas em matéria orgânica, macronutrientes e micronutrientes. Apresentam também microrganismos patogénicos e, por vezes, compostos orgânicos tóxicos tais como PAH’s (hidrocarbonetos aromáticos policíclicos), PCB’s (bifenilos policlorados), entre outros. Por outro lado, quando comparadas com fertilizantes comuns, as lamas apresentam um conteúdo em nutrientes mais reduzido.

f) Deposição Final

A deposição final de lamas de ETAR e sólidos que não sejam adequados para nenhuma alternativa de reutilização, deverá ser feita em aterro sanitário.

A deposição no mar é proibida pela Directiva Comunitária (91/271/CEE).

Deposição em aterro deverá ocorrer apenas quando não for possível a sua utilização, devido a factores tais como presença de metais pesados e outras substâncias tóxicas. Esta prática apresenta variados riscos pelo que a correcta monitorização do processo deve ser garantida. As lamas devem ser sempre sujeitas a estabilização antes de depositadas em aterro, de modo a diminuírem riscos de contaminação das águas subterrâneas e produção de odores desagradáveis.

Há que ter em consideração, ainda, ao facto de muitas indústrias efectuarem descargas de metais pesados conjuntamente com as águas residuais, pelo que, essas concentrações de metais pesados, podem trazer consequências graves, como a contaminação dos solos, quando se aplicam na agricultura. Se for o caso, as industrias deverão proceder ao controlo dessas concentrações de modo a limitar os teores, em metais pesados, a níveis compatíveis com os aceitáveis de metais no solo.

4.3.7. Tratamento de odores

Os odores associados às Estações de Tratamento de Águas Residuais (ETAR) constituem uma preocupação crescente quer para os técnicos e responsáveis pelo tratamento de águas residuais, quer para toda a população. Isto porque com o crescente desenvolvimento urbano, tem-se tornado difícil ou mesmo impossível, construir ETAR longe dos aglomerados populacionais.

Os odores provenientes das águas residuais, quando em concentrações não muito elevadas, produzem no Homem efeitos essencialmente a nível psicológico, podendo causar perda de apetite, náuseas e vómitos, dificuldades respiratórias e insónias. Sendo assim, a presença de uma ETAR pode conduzir à diminuição do interesse económico da zona afectada e levar mesmo a distúrbios sociais nessa zona.

Deste modo será importante tentar controlar as emissões de odores. Hoje em dia o tratamento do ar contaminado passou a ter uma grande importância na concepção e na manutenção das estações de bombagem e de tratamento de águas residuais, pelo que os técnicos ligados ao projecto e à operação deste tipo de instalações deverão ter presente as tecnologias de tratamento e as técnicas de controlo das emissões de odores.

Os odores referidos são devidos a diversos compostos orgânicos ou inorgânicos presentes nas águas residuais e libertados na forma de gases.

Esses compostos podem ser desde logo constituintes das águas residuais, no caso de alguns efluentes industriais, ou serão produtos dos processos de decomposição bacteriana da matéria orgânica ocorridos nas ETAR ou mesmo ainda nas redes de colectores. Os principais compostos responsáveis pelos odores das águas residuais são o gás sulfídrico, o amoníaco e outros compostos orgânicos. No entanto as principais fontes emissoras de odores de águas residuais são: as redes de colectores, os órgãos de pré-tratamento, os decantadores primários, as lagoas anaeróbias e os espessadores, digestores e sistemas de desidratação de lamas.

Existem ETAR cuja instalação está equipada com um sistema de Desodorização, que impede a difusão para o exterior de poluentes atmosféricos produzidos no decurso do tratamento[27], tornando a Estação de Tratamento de Águas Residuais mais eficaz. Nas instalações onde não existe tratamento de odores, a intervenção ao nível da forma de operação das fontes de emissão é, por vezes, a única estratégia possível.

Para evitar problemas de odores junto das populações vizinhas, as instalações de purificação são completamente cobertas, acumulando todo o ar libertado durante o processo. O ar extraído é tratado química e biologicamente para remoção de odores, antes de ser libertado para a atmosfera. Normalmente, nestas situações, os órgãos de pré-tratamento (grades, tamisadores, desarenadores, desengorduradores) e os equipamentos de

[27] É extraído o ar contaminado produzido dentro dos seguintes edifícios:
- Pré-Tratamento; - Espessamento e Desidratação de Lamas; Tanque de Homogeneização de Lamas; - Digestor Anaeróbio.

desidratação de lamas são instalados em edifícios próprios, fechados e devidamente ventilados. Também é usual construir edifícios próprios para os decantadores primários. No entanto, os decantadores, assim como os espessadores, são frequentemente cobertos individualmente.

"São empregues uma variedade de métodos para suprimir os odores nas estações de tratamento de águas residuais, de entre os quais:

- Instalação de coberturas nos tanques;
- O uso de sistemas para vaporizar químicos para a atmosfera que mascaram os odores, mas isto raramente tem sucesso;
- Instalação de torres contendo materiais que incluem turfa, carvão activado e soluções ácidas e alcalinas para absorver as substâncias que geram odores, especialmente compostos de enxofre;
- Processos de absorção pelo biofilme com recurso a meios de suporte de plástico" (Myers et al, 1996-97).

O processo de desodorização conduz o efluente gasoso através de um meio bacteriológico onde as moléculas do gás odorizado são fixadas. A fim de ser mantida a actividade das bactérias o meio ambiente bacteriológico é continuamente pulverizado com uma mistura de água e elementos activos. O sistema de tratamento consiste numa tripla lavagem química do ar contaminado, permitindo a absorção dos compostos odorantes.

Existem numerosas tecnologias de desodorização de ar contaminado, no entanto, as mais utilizadas tanto em Portugal como noutros países são:

- sistemas de adsorção;
- sistemas de lavagem química.

Sistemas de adsorção:

Consiste em fazer passar o ar por um meio adsorvente no qual os compostos responsáveis pelos odores aderem.

O meio adsorvente habitualmente utilizado é o carvão activado, que pode ser impregnado com hidróxido de sódio para a oxidação de substâncias odoríferas.

Apesar da utilização do carvão activado ter diversas vantagens (fácil operação, possibilidade de se aumentar a eficiência através da regeneração do meio adsorvente e flexibilidade de funcionamento em função da variação do caudal de ar a tratar) o facto de ao longo do tempo, o carvão activado ir perdendo a capacidade de adsorção, faz com que a eficiência deste meio adsorvente seja diminuta.

Sistemas de lavagem química:

O tratamento baseia-se em promover o contacto entre o ar contaminado por compostos responsáveis pelos odores e soluções de compostos químicos capazes de oxidar e neutralizar aqueles compostos.

Os oxidantes utilizados mais correntemente são o **ácido sulfúrico** e o **hipoclorito de sódio** em condições alcalinas.

Todos os processos realizados nesta tecnologia de desodorização estão descritos na figura 4.19.

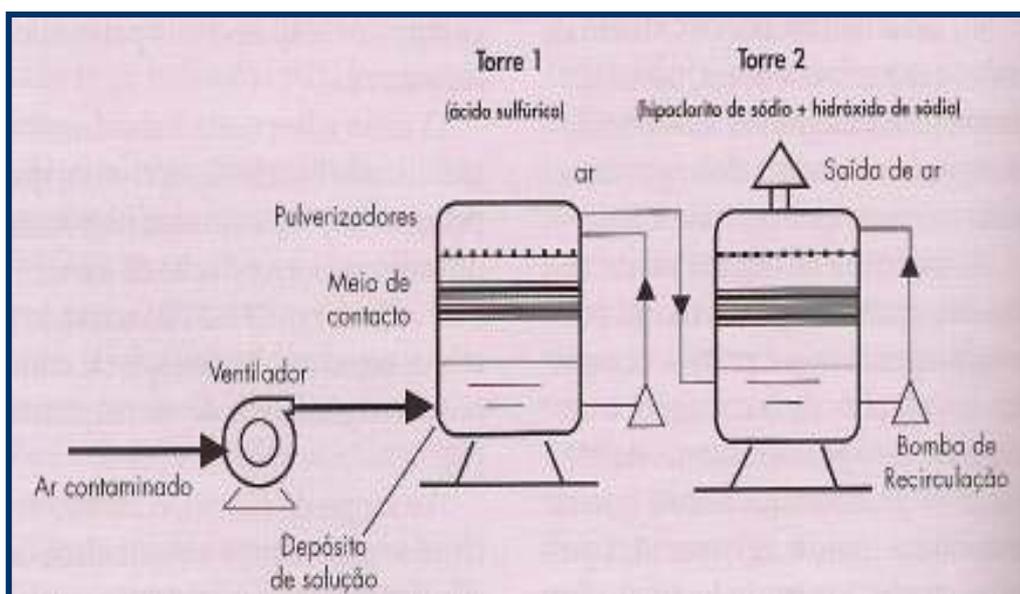



Figura 4.19: Esquema de lavagem química através de duas torres.

As vantagens do sistema de lavagem do ar em torres químicas são a grande eficiência do sistema, a economia no tratamento de grandes caudais de ar e a flexibilidade face a mudanças do tipo de compostos odoríferos a tratar. Na primeira torre processa-se à neutralização dos derivados azotados (amoníaco, aminas, …) através da dosagem de ácido sulfúrico (pH=3), que permite a absorção e oxidação dos compostos de enxofre e orgânicos. Na segunda torre processa-se à neutralização de H_2S e outros compostos ácidos através da dosagem de hipoclorito de sódio (pH=11, onde ocorre a adsorção dos produtos de oxidação) e de hidróxido de sódio (25%), onde os ácidos são neutralizados.

As desvantagens são a utilização de reagentes perigosos, a necessidade de maior manutenção e o grande espaço ocupado.

5

PROTOCOLOS EXPERIMENTAIS

5.1. Introdução

Hoje é comummente aceite a ideia da importância em introduzir e aperfeiçoar nas Escolas a componente experimental do ensino das ciências.

As experiências laboratoriais são realizadas com o intuito de auxiliar os alunos na compreensão de conceitos estudados em aulas de carácter teórico. Acredita-se que as aulas, ditas laboratoriais, melhoram significativamente os níveis de conhecimentos dos alunos.

Embora se aponte, por vezes erradamente, as experiências laboratoriais de serem artificiais, acontece que os alunos ao entrarem no laboratório para participar em experiências não deixam as suas competências na sala de aula. No laboratório, local onde aplicam o saber adquirido, os discentes deparam-se com vários instrumentos e aparelhos necessários para controlar os estímulos e medir respostas de forma precisa. O objectivo é avaliar e verificar as hipóteses e princípios que ajudam a compreender melhor a teoria inerente aos ensaios em questão.

Antes de se iniciar qualquer experiência deverá compreender-se claramente os fundamentos básicos da mesma e a forma de a executar. Isso implica a leitura prévia das respectivas normas gerais de procedimento.

As experiências laboratoriais referidas nesta dissertação foram realizadas na Escola EB2,3/S Dr. João de Brito Camacho – Almodôvar, com o intuito de simular o Ciclo Hidrológico, bem como alguns dos processos de tratamento efectuados em Estações de Tratamento de Águas. As actividades executadas visaram, nomeadamente:

- ✓ a aquisição de saberes recorrendo a uma perspectiva interdisciplinar;
- ✓ a sensibilização dos alunos para a importância das problemáticas da água;
- ✓ sensibilizar os alunos para a valorização da água como um importante recurso natural a utilizar de forma racional;
- ✓ ensinar os alunos a identificar a água nos seus estados e entender como ocorrem as transformações - mudanças de estado físico - identificando-as no seu quotidiano, tanto em fenómenos naturais como os decorrentes de actividades humanas;
- ✓ a ligação entre os saberes teóricos adquiridos ao nível das matérias de ensino e a sua aplicação prática;
- ✓ a concretização de actividades que promovam o desenvolvimento do espírito de iniciativa, de organização e de autonomia, aspectos fundamentais da formação integral do aluno;
- ✓ desmistificar e familiarizar os alunos com metodologias científicas, numa aproximação à ciência, através do desenvolvimento de algumas actividades práticas investigadoras que estimulam o seu pensamento científico e permitem conhecer processos científicos;
- ✓ aferir alguns conceitos apreendidos, pelos alunos, ao longo das aulas de Ciências.

5.2. PARTE I

A. Título: Faça o seu próprio Ciclo da Água…

B. Abordagem Científica

A utilização e gestão da água de forma racional e sustentável por parte da população exigem uma mudança cultural no sentido de incorporar valores de preservação ambiental deste precioso e insubstituível recurso natural que é a água.

Depois do oxigénio, a água é, para a vida, a substância mais importante. Podemos permanecer vivos por semanas sem alimentos sólidos, mas apenas cerca de seis dias sem água. Entretanto, além da água para beber, necessitamos dela para o uso doméstico e, em quantidade muito maior, para os usos industriais e para a agricultura.

Um dos conceitos essenciais em Hidrologia (ciência que estuda a ocorrência, distribuição e movimentação da água no planeta Terra) e certamente na utilização de recursos de água é o Ciclo Hidrológico (também referenciado como Ciclo da Água). Existem diversas definições sobre o Ciclo Hidrológico, mas geralmente é definido como um modelo conceptual que descreve o armazenamento e circulação da água entre a biosfera, atmosfera, litosfera e hidrosfera.

Mais de dois terços da superfície do planeta são água, estando a maior parte dela no estado líquido. Esta é uma das condições essenciais à existência de vida na Terra, e única nos planetas do Sistema Solar. Mas a água também surge naturalmente no estado sólido e no estado gasoso. Por cada 100 litros de água existentes no planeta, 2 litros encontram-se no estado sólido e 2 mililitros estão na forma de vapor.

Nas zonas mais frias da Terra, a água encontra-se frequentemente no estado sólido. Pode mesmo acumular-se nas montanhas durante séculos. Ocasionalmente, devido ao aumento de pressão, as camadas inferiores do gelo acumulado fundem e a parte superior desprende-se, atingindo o oceano. Os enormes blocos de gelo flutuantes assim formados chamam-se icebergs.

A água dos oceanos, continentes e atmosfera faz parte de um ciclo perpétuo, que é essencial para manter a vida na Terra. Ao longo do seu ciclo de transformação, vai mudando de estado físico, mediante transformações físicas que permitem manter sempre a quantidade de água inicialmente existente. Este ciclo é sustentado pela energia proveniente do Sol e pela força gravitacional.

A água da superfície de oceanos, mares, lagos e rios, é aquecida pelo Sol e evapora-se. O vapor de água assim formado, juntamente com o que provém da transpiração dos seres vivos, eleva-se na atmosfera e vai arrefecendo progressivamente, condensando em minúsculas gotículas que ficam em suspensão. As nuvens formam-se devido à acumulação destas gotículas. Quando o peso das gotículas aumenta, a água cai sob a forma de precipitação. Se a temperatura da nuvem for inferior ao ponto de solidificação da água, a precipitação pode ocorrer no estado sólido (neve ou granizo).

Assim a água que inicialmente se evaporou regressa aos oceanos, mares, rios e lagos, directamente ou depois de se infiltrar no solo, circulando através dele. Podemos, por isso, dizer que a quantidade de água existente no planeta se mantém constante.

As experiências laboratoriais apresentadas de seguida (experiências nº1, nº2 e nº3) são similares no que respeita à simulação do Ciclo Hidrológico, sendo possível em sala de aula realizar qualquer uma delas e seleccionar a que se achar mais conveniente face aos meios laboratoriais disponíveis.

C. Conteúdos/Conceitos

Ciclo da Água: sequência fechada de fenómenos pelos quais a água passa do globo terrestre para a atmosfera, na fase de vapor, e regressa àquele, nas fases líquida e sólida.

D. Objectivos de Aprendizagem

- Dar a conhecer os vários conceitos e fenómenos relacionados com a temática da água, mediante a utilização de actividades prático-experimentais entre outras;

- Proporcionar a oportunidade de conhecer, viver e sentir o dia-a-dia do trabalho num laboratório e familiarizar os alunos com metodologias científicas;

- Incentivar atitudes e capacidades de análise, reflexão e discussão de ideias e resultados a partir de experiências e actividades pedagógicas;

- Contribuir para uma educação capaz de formar cidadãos decididos, reflexivos e responsáveis com o meio ambiente, incutindo valores de preservação ambiental;

- Explicar como o ciclo de água recicla o fornecimento da água terrestre;

- Fazer uso de conhecimentos sobre a água adquiridos noutras disciplinas, especificamente nas Ciências Naturais;

- Formar uma hipótese sobre como/porquê o ciclo de água funciona;

- Utilizar as habilidades da arte linguística de escrever ou desenhar para explicar como o ciclo da água funciona;

- Identificar a água nas suas diferentes fases;

- Conhecer o ciclo da água e as suas fases: evaporação, condensação, solidificação e precipitação;

- Realizar pesquisas de informação sobre o ciclo da água e as suas fases;

- Utilizar processos de pensamento científico que levem à condução de experiências e à construção de explicações: observar, medir, organizar, comparar, comunicar e prever.

E. Questões Motivadoras

- Sabe identificar todas as etapas envolvidas no Ciclo da Água?

- Como ocorre o fenómeno de evaporação?

- De que forma regressa à Terra a água das chuvas?

- Quais os diferentes estados físicos por que passa a água?

- É possível recriar o Ciclo Natural da Água no laboratório de uma forma simples?

A. Experiência nº1

Objectivo: Esta experiência pretende mostrar o Ciclo Natural da Água, simulando um habitat natural. Perceber a importância da água para a vida das pessoas, animais e plantas.

1. Material:

- areia
- frasco
- pedras
- plantas
- terra
- tina com água

2. Procedimento Experimental:

i. Colocar no interior do Frasco uma camada de pedras.
ii. Sobre a camada de pedras colocar uma camada de areia e posteriormente uma porção de terra.
iii. Enterrar, cuidadosamente, as plantas (por exemplo um cacto), no lado esquerdo do Frasco (ver figura 5.1).
iv. Encher a tina com água e colocá-la no lado direito do frasco.
v. Colocar o Frasco num local seguro e exposto à incidência de luz solar.
vi. Acompanhar periodicamente o desenrolar dos acontecimentos no interior do Frasco durante aproximadamente 15 dias.

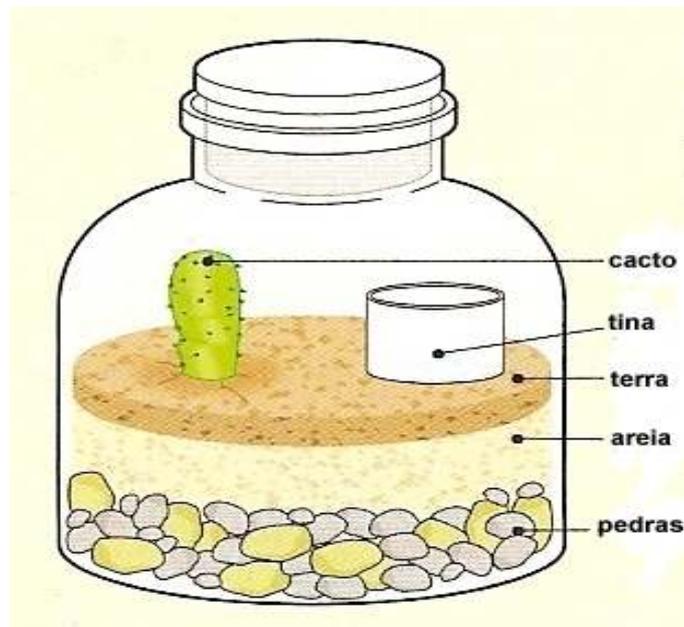



Figura 5.1: Simulação do Ciclo Hidrológico.

3. Registo de observações e análise de resultados:

No caderno de laboratório anote todas as observações efectuadas ao longo desses 15 dias.

Refira o aspecto que as paredes do frasco vão adquirindo ao longo do tempo. Compare também o aspecto e o tamanho do cacto no início e no fim da experiência.

Explique ainda por que razão o cacto se desenvolveu normalmente, apesar de estar dentro de um recipiente fechado.

Execução da experiência nº1

Fotografias ao longo da experiência nº1

1º dia

6º dia

8º dia

Fotografias ao longo da experiência nº1 - continuação

10º dia

15º dia - último

B. Experiência nº2

Objectivo: Esta experiência laboratorial tem como objectivo simular o Ciclo Hidrológico em sistema fechado. Observar o ciclo evaporação-condensação tendo como fonte de energia o Sol.

1. Material:

- algodão
- copo graduado (20 mL)
- corante de cor azul (anilina)
- funil
- película plástica
- recipiente com água

2. Procedimento Experimental:

i. Colocar água misturada com corante no interior do Recipiente, até aproximadamente 3 cm.
ii. No centro do Recipiente (figura 5.2) colocar o copo graduado com o funil, que servirá para medir a água condensada.
iii. Cobrir o Recipiente com a película de plástico, de modo que o sistema fique vedado, fazendo uma inclinação em direcção ao funil.
iv. Colocar sobre a película uma camada fina de algodão que deverá ser mantida húmida durante todo o procedimento.
v. Montar a experiência num local exposto à luz solar, durante todo o período de observação.

Nota: Em dias ensolarados são necessárias no mínimo duas horas de exposição para se obter um resultado significativo.

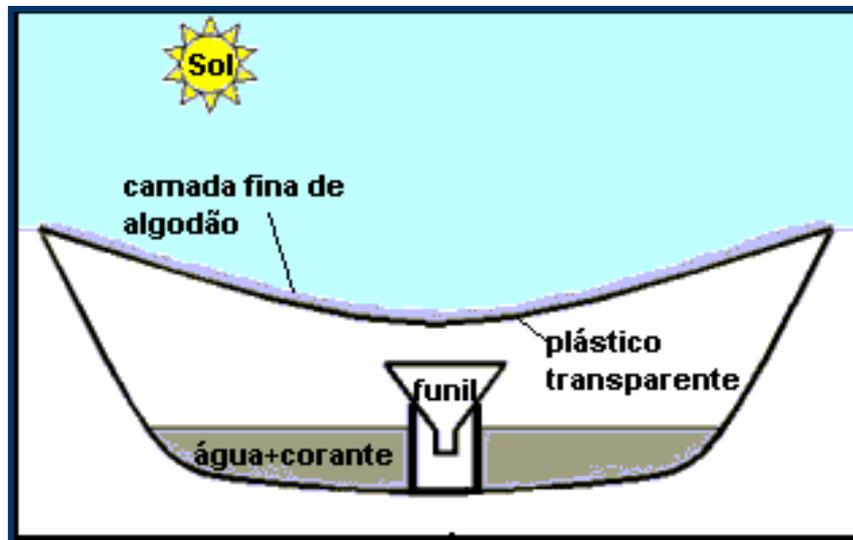



Figura 5.2: Simulação do Ciclo da Água, em sistema fechado.

3. Registo de observações e análise dos resultados:

No caderno de laboratório anote todas as observações ao longo de toda a experiência.

Refira o que acontece ao corante que se encontra dissolvido na água.

Execução da experiência nº2

Fotografias ao longo da experiência nº2

1º dia

Fotografias ao longo da experiência nº2 - continuação

5º dia

Fotografias ao longo da experiência nº2 - continuação

12º dia - último

C. Experiência nº3

Objectivo: A experiência seguinte pretende recriar o Ciclo da Água. Dada a influência da energia solar descrever os diversos fenómenos que ocorrem durante a experiência.

1. Material:

- uma bacia grande
- plástico
- um peso
- recipiente pequeno (um gobelé por exemplo)
- elástico

2. Procedimento Experimental:

i. Colocar o recipiente pequeno no meio da bacia grande.
ii. Encher a bacia com pouca água (cuidado para não deixar entrar água dentro do recipiente pequeno).
iii. Cobrir a bacia com o plástico.
iv. Prender o plástico em torno da borda da bacia com o elástico.
v. Colocar um peso sobre a montagem, tal como está demonstrado na figura 5.3.
vi. Colocar a experiência sobre o parapeito de uma janela ou num lugar exposto ao Sol.
vii. Observar com atenção o que acontece.

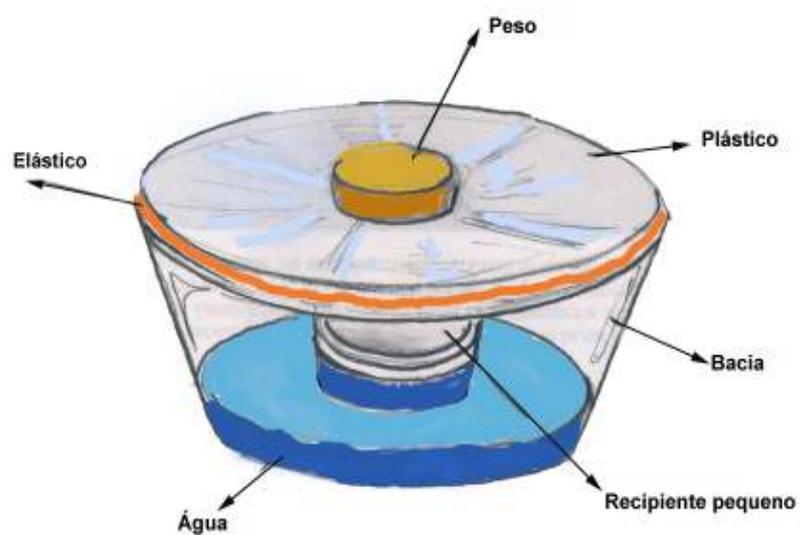



Figura 5.3: Simulação do Ciclo da Água.

3. Registo de observações e análise dos resultados:

No caderno de laboratório anote todas as observações ao longo de toda a experiência.

Verifique o que acontece à água que se encontra dentro da bacia.

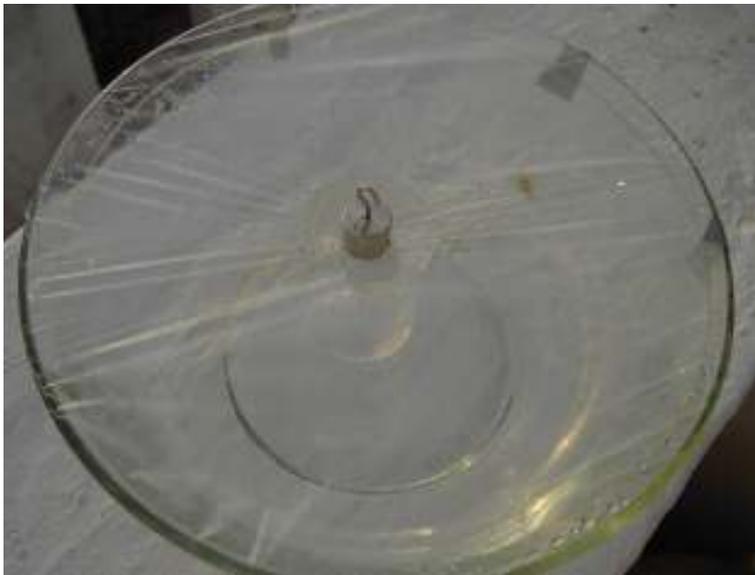
Execução da experiência nº3

Fotografias ao longo da experiência nº3

1º dia

2º dia

Fotografias ao longo da experiência nº3 - continuação

8º dia

15º dia - último

F. Contextualização Final

As questões Pós-Laboratoriais apresentadas de seguida auxiliam o professor, na medida em que o mesmo poderá questionar os alunos sobre os conceitos apreendidos nas experiências realizadas.

Questões Pós-Laboratoriais:

1. Cerca de 70% da superfície do planeta Terra é água. Descreva o Ciclo que, ao longo do tempo, essa água poderá seguir.

2. Para que contribui o Ciclo Natural da Água?

3. A fonte principal de energia para o Ciclo da Água na Terra é:

a) o vento
b) a radiação solar
c) a radiação da Terra
d) a gravidade do Sol

4. Quais são os quatro principais espaços de armazenamento de água no Ciclo Hidrológico?

5. Quais são os quatro principais processos de transferência de água?

6. Qual é a equação que domina o Ciclo Hidrológico?

7. O que acontece à água que se infiltra no solo?

8. A água que escorre do continente vai para o oceano. Como se faz a reposição de água doce no continente?

9. Como é que as mudanças de regime hidrológico, decorrentes das actividades humanas, podem afectar as variáveis físicas de que dependem os ecossistemas?

10. Como é que as mudanças climáticas afectam a disponibilidade dos recursos hídricos?

11. Qual o papel das plantas no Ciclo da Água?

12. Comente a seguinte afirmação: "*Os seres vivos não são imprescindíveis ao Ciclo da Água*".

13. Após ter simulado, nas experiências laboratoriais, o Ciclo Hidrológico, comente a célebre frase do físico Lavoisier: *"Na Natureza nada se perde, nada se cria, tudo se transforma"*.

5.3. PARTE II

A. Título: Uma espécie de ETA…

B. Abordagem Científica

A combinação dos efeitos da urbanização, industrialização e o crescimento da população, afectam não só a vegetação como também os meios aquáticos.

O Ciclo Hidrológico é modificado por impactos urbanísticos e pela necessidade de fornecer serviços de água à população urbana. Sendo assim é de referir que o Ciclo Hidrológico se torna mais complexo em áreas urbanas, devido às influências e intervenções antropogénicas.

A expressão "ciclo hidrológico urbano" pode ser denominada de "**Ciclo Urbano da Água**" demonstrando a conectividade e interdependência da água e das actividades humanas. Este ciclo é considerado um bom conceito para se estudar o balanço da água.

O tratamento da água foi desde sempre uma das medidas mais aplicadas para que o Homem a utilizasse para consumo, sem qualquer tipo de consequências negativas para a sua saúde.

A captação da água a partir de rios, lagos ou albufeiras, necessita de tratamentos específicos para que possa posteriormente ser ingerida pelo Homem. Assim, constroem-se unidades próprias para esse efeito denominadas de **Estações de Tratamento de Água** (ETA). Nestas unidades são aplicados diferentes processos, de natureza física e química, fundamentalmente para separar as partículas em suspensão na água tornando-a visualmente agradável e eliminar qualquer tipo de agentes patogénicos.

Neste trabalho pretende-se familiarizar os alunos para várias questões relacionadas com a água, nomeadamente as formas sob as quais existe na natureza e os fenómenos em que está envolvida. Recorrer-se-á ao ensino experimental para que, de forma prática e lúdica, os alunos apreendam o significado e a importância dos recursos hídricos e tomem consciência das boas práticas de utilização da água, de forma a diminuir o desperdício e a contaminação provocada pelo Homem.

Etapas envolvidas numa Estação de Tratamento de Água

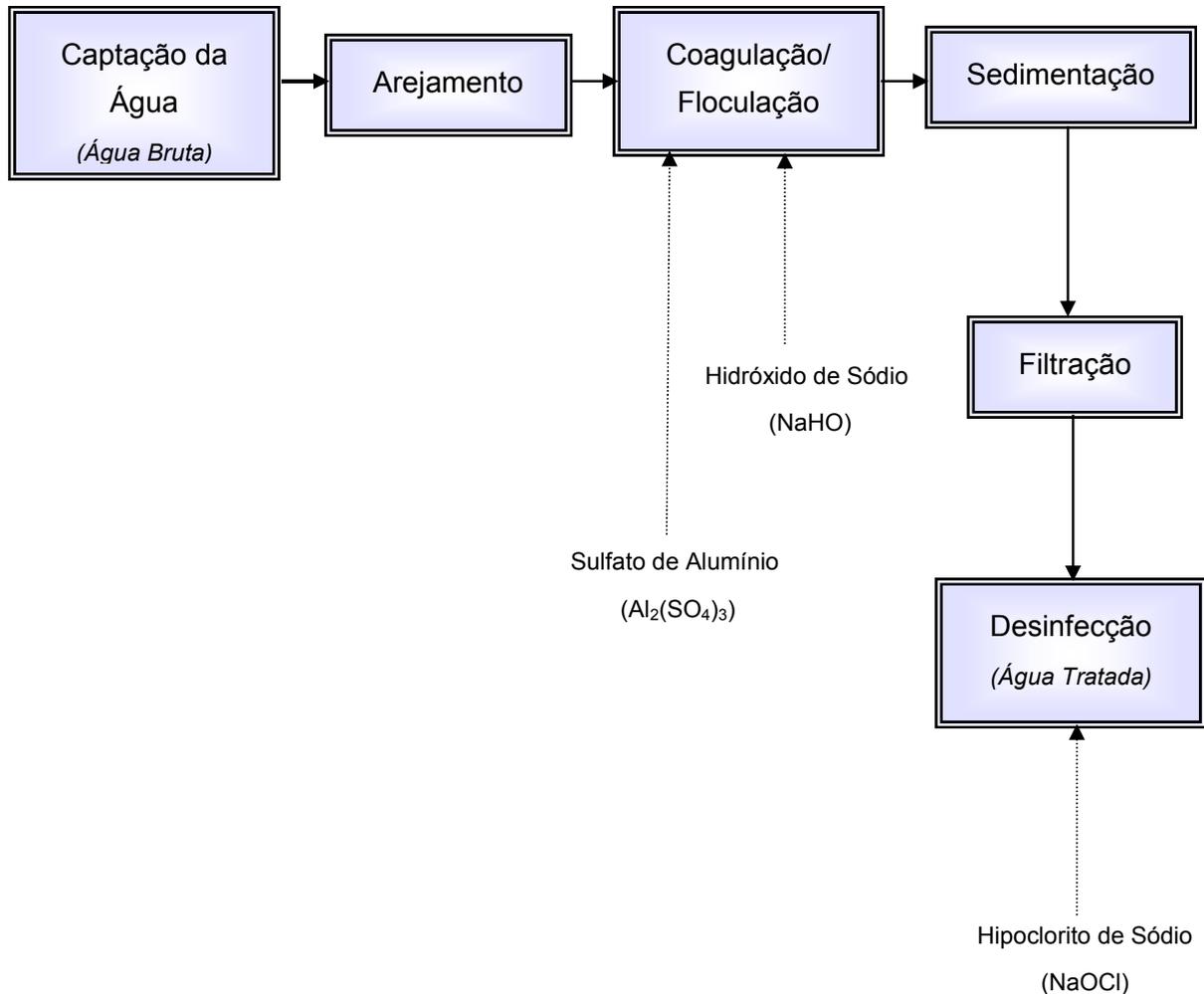
Arejamento: consiste na adição de ar à água. Este processo permite que alguns gases voláteis presentes na água se libertem e permite, igualmente, a dissolução de oxigénio na água.

Cogulação/Floculação: é o processo através do qual as partículas em suspensão e outras partículas de natureza coloidal presentes na água se aglomeram em flocos, para que possam ser removidas da água.

Sedimentação: processo que ocorre quando os flocos formados no processo de Coagulação/Floculação decantam, pela acção da gravidade.

Filtração: etapa onde ocorre a remoção da maior parte das impurezas remanescentes na água, após ter ocorrido a coagulação/floculação e a sedimentação.

Desinfecção: a etapa final do processo de tratamento da água destinada ao abastecimento público envolve uma etapa de desinfecção, ou seja, de remoção ou inactivação dos microrganismos presentes. Os agentes desinfectantes normalmente utilizados são cáusticos e corrosivos, pelo que devem ser manipulados com extremo cuidado.

Apresenta-se de seguida o diagrama geral comum de uma Estação de Tratamento de Água:

C. Conteúdos/Conceitos

Estação de Tratamento de Água: local onde se removem ou destroem quaisquer organismos nocivos, substâncias químicas prejudiciais, bem como materiais, sejam em suspensão ou em solução, prejudiciais à aparência ou ao aspecto estético da água. Nestas unidades realiza-se o tratamento da água, que é um processo de natureza essencialmente físico-química, mediante o qual se eliminam uma série de substâncias e organismos que implicam risco para o consumo ou lhe comunicam um aspecto ou qualidade organoléptica não desejáveis, e a transforma numa água própria para o consumo humano.

D. Objectivos de Aprendizagem

- Realizar pesquisas de informação sobre as várias formas de poluição da água;
- Conhecer os parâmetros que identificam as características (qualidade) de uma água;
- Saber as técnicas de análise para determinação dos parâmetros que caracterizam uma água;
- Promover reflexões sobre a utilização da água no nosso quotidiano e o papel de cada um no uso racional deste bem de consumo.
- Compreender os diferentes processos de tratamento de água;
- Reproduzir em pequena escala no laboratório o processo de coagulação, sedimentação e filtração, envolvido no tratamento de água e discutir questões ligadas ao uso da água tratada.
- Ensinar aos alunos os conceitos e conhecimentos necessários para o dimensionamento de estações de tratamento de água, para consumo humano, tendo em conta a legislação ambiental aplicável em Portugal;
- Determinar as correctas dosagens de produtos químicos para tratamento da água;
- Compreender os processos físico-químicos envolvidos no tratamento da água;
- Utilizar processos de pensamento científico que levem à condução de experiências e à construção de explicações: observar, medir, organizar, comparar, comunicar e prever.
- Compreender os diferentes processos de tratamento de água e a articulação das diferentes etapas envolvidas numa ETA.

E. Questões Motivadoras

- De onde vem a água potável que chega a nossa casa?
- Como chega a água a nossa casa?
- Quais os processos de tratamento a que a água é sujeita?
- É adicionado algum produto químico na água?
- A água da torneira da nossa casa será segura para beber?
- Qual a importância do tratamento de água?

D. Experiência nº4

Objectivo: Neste trabalho pretendem mostrar-se as diferentes etapas sequenciais envolvidas no tratamento de água para consumo humano, normalmente levadas a cabo numa Estação de Tratamento de Água (ETA).

1. Material:

- 1 gobelé de 100 mL
- 2 gobelés de 600 mL
- 5 L de água de um rio
- balança
- balão volumétrico de 500 mL
- esguicho com água destilada
- espátulas
- filtro de papel
- luvas protectoras
- papel indicador de pH
- pinça
- pipeta de Pasteur
- pompete
- relógio ou cronómetro
- suporte universal com pinça de garras
- vareta de vidro
- vidro de relógio

2. Reagentes:

- 20 g de Sulfato de Alumínio
- Solução de hidróxido de sódio de concentração 1M
- Solução de hipoclorito de sódio (lixívia comercial)

Precauções a ter com os reagentes:

Hidróxido de Sódio:

Fórmula química: NaOH.

Propriedades Físicas – Sólido deliquescente, branco com várias formas, sem odor. Ponto de ebulição: 1390°C. Ponto de fusão: 318°C. Densidade: 2,1 g/cm^3. Solubilidade na água, g/100 ml a 20°C: 109.

Efeitos de Ingestão – corrosivo. Sensação de ardor. Dores abdominais. Choque ou desfalecimento. Pode causar danos graves e permanentes no sistema gastrointestinal.

Efeitos de Inalação – corrosivo. Sensação de ardor. Garganta inflamada. Tosse. Respiração difícil. Falta de ar. Os sintomas podem manifestar-se mais tarde. Irritação com pequenas exposições, danosa ou mortal em doses elevadas.

Efeitos na Pele – corrosivo. Vermelhão. Dores. Queimaduras graves na pele. Bolhas. Os sintomas são desde irritações leves até úlceras graves.

Efeitos nos Olhos – perigoso. Corrosivo. Vermelhão. Dor. Visão turva. Pode causar queimaduras graves, danos na córnea ou conjuntivites.

Deve ser armazenado, bem fechado, separadamente de ácidos fortes e metais em local seco. Armazenar em área com chão de betão resistente à corrosão.

Perigos químicos – A substância é uma base forte e reage violentamente com ácido. É corrosiva em ar húmido, para metais como o zinco, o alumínio, o estanho e o chumbo, formando um gás explosivo (hidrogénio). Reage com sais de amónio para formar amónia, causando risco de incêndio. Ataca algumas formas de plástico, borracha e revestimentos. Absorve rapidamente o dióxido de carbono e a água do ar. O contacto com a humidade ou água pode gerar calor.

Valor limite de exposição – VLE: 2 mg/m^3.

Sulfato de Alumínio:

Fórmula química: [$Al_2(SO_4)_3$].

Propriedades Físicas – pó ou cristais lustrosos, brancos e inodoros, conhecido como composto anidro (sem água), ou como hidratado. Tem propriedades anticépticas, detergente e clarificante.

Ponto de fusão (decompõe-se): 770°C. Densidade relativa: 2,71. Solubilidade na água: boa.

Efeitos de Ingestão – dores abdominais. Sensação de ardor. Náuseas. Vómitos.

Efeitos de Inalação – tosse. Falta de ar. Garganta inflamada.

Efeitos na Pele – vermelhão. Dor.

Efeitos nos Olhos – corrosivo. Vermelhidão. Queimaduras graves e profundas.

Deve ser armazenado separadamente de bases fortes e em local seco.

Perigos químicos – A substância decompõe-se ao aquecer ou ao arder, libertando fumos tóxicos e corrosivos incluindo os óxidos de enxofre. A solução em água torna-se um ácido forte. Reage com substâncias alcalinas e ataca muitos metais em presença da água.

Valor limite de exposição – VLE: 2 mg/m^3.

3. Procedimento Experimental:

i. Recolher, num vulgar garrafão de plástico, cerca de 5 L, de água de um rio ou ribeiro que passe próximo da sua localidade de residência. Transporte o garrafão para o laboratório da escola.

ii. Adicionar cerca de 500 mL da água do rio ao balão volumétrico de 500 mL (**Recipiente A**). Descrever a aparência e o cheiro da água.

iii. Tapar cuidadosamente o recipiente e agitar vigorosamente durante cerca de 30 segundos.
Deitar a água num gobelé (**Recipiente B**). Colocar novamente no balão volumétrico (**Recipiente A**). Repetir este procedimento pelo menos 10 vezes. Descrever qualquer alteração que eventualmente tenha sido observada.

iv. Pesar cerca de 10 g de sulfato de alumínio, para um vidro de relógio, numa balança de laboratório.

v. Após a etapa de arejamento deitar, com a ajuda de uma espátula, o sulfato de alumínio no **Recipiente B.** (Não se esqueça de usar luvas protectoras!) Adicionar, em seguida, 5 mL da solução de hidróxido de sódio à mistura. Verificar com papel indicador de pH se o valor de pH da solução passou a alcalino. Caso contrário adicione mais 5 mL da solução de hidróxido de sódio até obter um pH próximo de 8-9. Agitar lentamente a mistura com uma vareta de vidro durante cerca de 5 minutos.

vi. Permitir que a água permaneça em repouso no copo durante cerca de 20 minutos. Observar o que ocorre, a cada intervalo de 5 minutos, com a água contida no recipiente.

vii. Entretanto preparar um sistema de filtração, com um suporte universal com pinça de garras, um funil de vidro contendo o papel de filtro devidamente dobrado e um gobelé para a recolha do filtrado.

viii. Depois de uma certa quantidade de material sólido (partículas em suspensão) ter sido decantado no fundo do **Recipiente B,** deitar cuidadosamente o sobrenadante para o sistema de filtração. Recolher a água filtrada num outro gobelé (**Recipiente C**).

ix. Uma forma simples de desinfecção final da água, neste trabalho, será adicionar, com uma pipeta de Pasteur, 6 gotas de uma solução de lixívia comercial (solução de hipoclorito de sódio) ao **Recipiente C**.

x. Comparar o aspecto da água do rio inicial com a amostra de água que se obteve no final de todos os passos anteriores, principalmente em relação à aparência e ao cheiro.

Nota: A água resultante não deve, no entanto, ser consumida, pois pode causar efeitos adversos à saúde.

4. Registo de observações e análise dos resultados:

No caderno de laboratório anote todas as observações ao longo da experiência e responda às seguintes questões:

a) Descreva a aparência e cheiro da água inicialmente (água do rio).

b) Após a realização do processo de **Arejamento** observou algum tipo de alteração?

c) Durante o processo de **Sedimentação** registe as alterações a cada 5 min, na tabela seguinte:

Tempo (min)	Alterações Observadas
5	
10	
15	
20	

d) Compare a água filtrada com a água inicialmente utilizada na realização da experiência, principalmente em relação à aparência e ao cheiro.

Execução da experiência nº4

Fotografias ao longo da experiência nº4

Água do rio

Fotografias ao longo da experiência nº4 - continuação

Etapa de Arejamento

Fotografias ao longo da experiência nº4 - continuação

Coagulação/Floculação

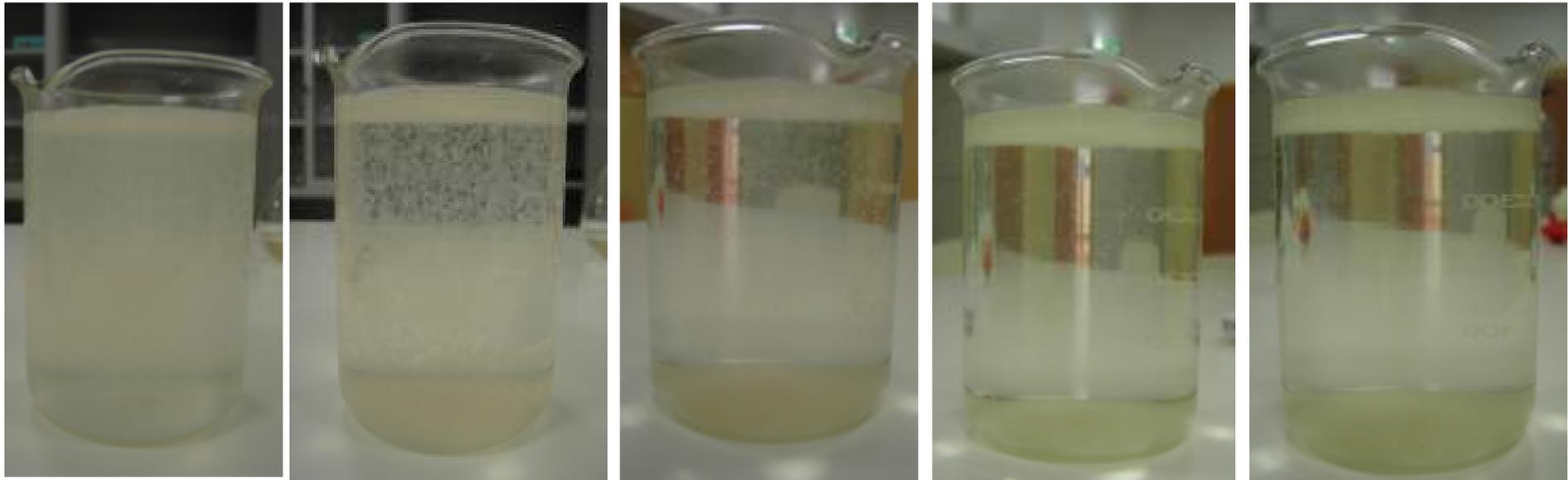
Sulfato de Alumínio

Solução de hidróxido de sódio

Fotografias ao longo da experiência nº4 - continuação

Agitação

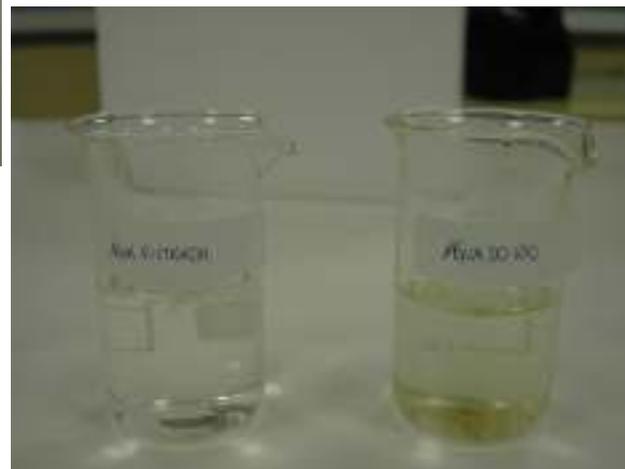
Fotografias ao longo da experiência nº4 - continuação

Sedimentação

Fase inicial | Após 5 minutos | Após 10 minutos | Após 15 minutos | Após 20 minutos

Fotografias ao longo da experiência nº4 - continuação

Filtração

Fotografias ao longo da experiência nº4 - continuação

Desinfecção

F. Contextualização Final

Todos os assuntos referidos nas questões Pós-Laboratoriais que se seguem servem de exemplo para o professor questionar os alunos sobre os conceitos apreendidos na experiência “Uma espécie de ETA…”.

Questões Pós-Laboratoriais:

1. Que produtos de reacção se formam quando são misturados sulfato de alumínio e hidróxido de sódio? Escreva a equação da reacção.

2. Qual a origem dos contaminantes que tornam a água imprópria para consumo humano?

3. Explique o que faria para ter um maior controlo pessoal sobre a qualidade da água em sua casa.

4. Explique porque, por vezes, as instalações sanitárias mais antigas apresentam manchas de “ferrugem”.

5. Em alguns casos a água apresenta um odor desagradável semelhante ao de ovos podres. Explique uma possível origem para esta situação.

6. Em certos lagos e rios crescem muitas algas e plantas. Relacione este facto com o lançamento de produtos químicos na água.

7. Porque é que, ocasionalmente, a água da torneira se encontra branca?

8. Porque é que, por vezes, a água tem um cheiro a cloro?

9. Para uma melhor utilização da água deve-se ter noção da legislação que regula a qualidade da água para consumo humano. Refira qual a legislação fundamental no nosso país.

10. Quais seriam as consequências da não existência de ETA?

11. Que factores podem influenciar as características da água?

12. Para que possamos consumir a água sem consequências para a nossa saúde realizam-se análises físicas, químicas e biológicas. Onde se pode consultar os resultados dessas análises sobre a qualidade da água?

13. Após ter realizado todas as experiências laboratoriais atrás descritas (*Faça o seu próprio Ciclo da Água* e *Uma espécie de ETA*) e como resumo, verifique se apreendeu alguns conceitos fundamentais.
Escolha a opção correcta para cada uma das perguntas da tabela 5.1.

Tabela 5.1: Teste os seus conhecimentos

Perguntas	Respostas
A água do planeta não está a acabar, mas está a ficar cada vez mais poluída. A maior parte da água do planeta é…	A – Doce B – Salgada C – Envenenada
A água deve ser…	A – Preservada B – Desperdiçada C – Poluída
A água da Terra não termina, pois participa num ciclo interminável denominado de…	A – Ciclo de vida B – Ciclo de poluição C – Ciclo da água ou ciclo hidrológico
A água é essencial para a vida das:	A – Rochas B – Pessoas C – Casas
A água do nosso planeta está cada vez mais poluídas e os esgotos das nossas cidades vão para o/a…	A – Mar B – Rio C – Atmosfera
Como deve ser a água que consumimos?	A – Tratada B – Poluída C – Suja
O que não devemos deitar no rio para diminuir a poluição?	A – Lixo B – Peixe C – Vegetais
Como podem colaborar as pessoas para um menor consumo da água?	A – Evitar desperdício B – Deixar as torneiras abertas C – Lavar sempre as ruas
A maior parte da água potável que existe no planeta é utilizada…	A – Na irrigação da agricultura B – No banho das crianças C – Para matar a sede dos animais
Onde se trata a água do nosso planeta?	A – Na escola B – Estação de tratamento apropriadas C – Em casa

6

CONSIDERAÇÕES FINAIS

6.1. Conclusões

A possibilidade concreta da escassez de água doce começa a tornar-se uma grande ameaça ao desenvolvimento económico e à estabilidade política do mundo nas próximas décadas. As disputas pelo uso da água poderão, inclusive, desencadear conflitos e guerras em escala imprevisível. A importância da água para a vida dos seres vivos em geral, a preservação da água potável que nos resta e a necessidade de tratar a água utilizada de forma a reutilizá-la futuramente foram alguns dos temas tratados nesta dissertação.

A natureza é lenta e frágil na transformação da água potável. Assim, a água deve ser manipulada com racionalismo e precaução. O equilíbrio e o futuro do nosso planeta dependem da preservação da água e dos seus ciclos. Eles devem permanecer intactos e funcionar normalmente para garantir a continuidade da vida sobre a Terra.

Como a procura por água potável tem vindo a crescer em todo mundo, este é um mercado de dimensões ainda incalculáveis. Para a solução deste problema, o passo inicial é o completo conhecimento do ciclo hidrológico, que vai possibilitar a correcta avaliação da disponibilidade dos recursos hídricos de uma determinada região.

Para uma melhor compreensão da utilidade da água e o seu consumo de forma adequada e sem qualquer tipo de consequência para o Homem foram retratados ao longo deste trabalho os vários processos a que a água é sujeita até ser ingerida. Todos esses processos realizam-se em estações de tratamento específicas (ETA). Nestas unidades, e após captação da água nos rios, lagos ou albufeiras, este líquido precioso é submetido a tratamentos físicos e químicos para que todos os microrganismos e agentes patogénicos sejam eliminados e, por conseguinte, seja possível obter uma água de qualidade.

A água depois de utilizada necessita ser tratada para que possa ser devolvida ao meio aquático. Hoje em dia, uma estação de tratamento de águas residuais (ETAR), assume um papel crucial na comunidade, uma vez que se trata de uma unidade que permite a despoluição e a possível reutilização desse bem essencial, permitindo a preservação de ecossistemas que servem de meio receptor e contribuindo para uma melhor economia das águas do nosso planeta.

Ao longo dos tempos tem-se vindo a verificar uma tendência por parte do Homem em lançar os seus efluentes líquidos nos cursos de água. Sob condições naturais, os rios têm poderes consideráveis de autodepuração, os detritos depositados são arrastados para o oceano e simultaneamente vão sendo degradados pelos microrganismos presentes na água. Quando os rios são sobrecarregados com efluentes, a certa altura deixa de haver oxigénio suficiente para permitir a vida de microrganismos que se encarregam da degradação da matéria orgânica ao longo de uma grande extensão.

As Estações de Tratamento de Águas Residuais têm como objectivo efectuar o tratamento dos efluentes através da combinação de processos físicos, químicos e biológicos.

Depois de passar por estas etapas a água é lançada no meio receptor, normalmente um curso de água. Como produto final de uma ETAR têm-se as lamas, que poderão ser utilizadas na agricultura, para fertilização do solo, se as concentrações de metais pesados estiverem dentro dos limites estabelecidos legalmente.

Neste trabalho numa primeira parte procurou explicar-se detalhadamente o Ciclo Urbano da Água, isto é, todo o caminho percorrido pela água desde a captação, passando por diversos tipos de tratamentos para a sua potabilidade nas Estações de Tratamento de Água, a sua utilização no dia-a-dia, as etapas de tratamento nas ETAR e a sua devolução ao meio hídrico.

Na segunda parte do trabalho apresentam-se alguns protocolos experimentais relacionados com o Ciclo Natural da Água e um protocolo onde são reproduzidos à escala laboratorial alguns dos tratamentos essenciais realizados numa ETA. Estes protocolos poderão ser recriados em sala de aula para melhor percepção dos conhecimentos leccionados.

6.2. Sugestões de trabalho futuro

O trabalho desenvolvido para a obtenção do grau de mestre limita-se nas páginas desta dissertação. No entanto mais informação deve ser obtida para um melhor conhecimento do tema. Assim, como possível trabalho futuro realçam-se os seguintes pontos:

- Realização de um CD/DVD interactivo onde estaria retratado todo o Ciclo Urbano da Água, podendo ser pesquisado e consultado por estudantes.
- Preparação de mais experiências laboratoriais (também com a participação de alunos) que incidissem sobre a problemática da água.
- Análise dos programas das disciplinas de Ciências Físico-Químicas. Esta análise seria de extrema importância pois talvez se concluísse o porquê do Ciclo Urbano da Água não ser referido em nenhum ano de escolaridade e que poderia ser uma mais valia para os discentes perceberem que este ciclo é muito importante e complementar ao Ciclo Hidrológico.
- Pesquisa, por parte dos alunos, sobre a qualidade e consumo da água de modo a conseguirem responder a certas questões problemáticas:
    i. De onde vem a água utilizada no bairro ou cidade onde mora?
    ii. Existe algum tipo de tratamento da água antes da sua distribuição para a população? Que tratamento? Quem ou onde se faz esse tratamento? Qual a entidade responsável?
    iii. São feitas análises periódicas da qualidade da água distribuída? Quem realiza essas análises e quais os resultados obtidos?
    iv. Existem casos de contaminação da água por lixo, e metais pesados na sua cidade?
    v. Por que se utiliza cloro na água distribuída para a população?
    vi. Como é feita a dosagem da cloração da água de modo que a quantidade de cloro seja suficiente, mas não excessiva?

vii. A água potável é armazenada em sua casa ou no seu prédio? Onde?

viii. Que medidas podem ser tomadas para garantir a qualidade da água consumida?

Deixa-se aqui uma alerta às entidades competentes para a necessidade de definir, desenvolver e implementar, nas escolas, bem como nos manuais escolares temas sobre os diversos tratamentos da água. Isto porque o acelerado desenvolvimento científico-tecnológico acompanhado do grande crescimento populacional global potenciou uma utilização da fracção referida de água muito mais rápida que a velocidade à qual ela é recuperada através dos diversos fenómenos envolvidos no ciclo da água. Torna-se assim necessário repensar as formas de utilização da água pelo Homem e também as estratégias para evitar a sua poluição.

Há que continuar, no futuro, a sensibilizar as pessoas que a água é um recurso finito e os seres humanos dependem dela para sobreviver. Deve-se continuar a questionar a população sobre o motivo pelo qual se consome muito mais água hoje do que há 100 anos ou sobre quais as fontes de contaminação da água, quais são os riscos da utilização de água poluída para a nossa saúde ou ainda quais os problemas que a poluição da água pode trazer para o meio ambiente.

Conclui-se o trabalho na esperança de se ter conseguido consciencializar o leitor do papel importante que a água tem na vida humana, influindo, assim nas suas concepções, conceitos, atitudes e que utilize da melhor maneira possível este líquido tão precioso.

BIBLIOGRAFIA

Afonso, A. B. S. (2000). Hidráulica (sebenta), Universidade de Coimbra, Coimbra.

Águas de Portugal (1999). Municípios devem presidir à aplicação dos fundos comunitários, *Água e Ambiente*, nº 13, Lisboa.

Águas de Portugal (2002). Curso: Operadores de ETAR, Portalegre.

Alexeev, V. (1979). Análise Quantitativa, Lopes da Silva Editor, Porto.

Alves, C. (2005). Tratamento de águas para abastecimento, Publindústria, Porto.

American Water Works Association (AWWA). (1971). Water Quality and Treatment: A Handbook of Public Water Supply, AWWA, Denver.

Standard Methods for Examination of Water and Wastewater, (1992), 18th Edition, APHA, AWWA, WPCF.

Assink, J.W.; Weenk, A. (1996). STEPS: a Systematic Approach for Integral Industrial Water Management. Report TNO, the Netherlands, Apeldoorn.

Associação Portuguesa de Laboratórios Acreditados. (1996). Validação de Resultados em Laboratórios Químicos, Lisboa.

Associação Portuguesa de Laboratórios Acreditados. (2000). Validação de Métodos Internos de Ensaio em Análise Química, Lisboa.

Baptista, J.M.; Matos, R.; Alegre, H. (2000). Guia de apoio ao processo de garantia da qualidade de sistemas multimunicipais de abastecimento de água – Volume 1, Relatório 64/00 – NES, LNEC, Lisboa.

Baker, M.N.; Taras, M. J. (1981). The Quest for Pure Water: The History of the Twentieth Century, Volume 1 and 2, AWWA, Denver.

Bexiga, A.C. (2003). Avaliação da Eficiência de quatro Estações de Tratamento de Águas Residuais situadas no Baixo Alentejo - Validação e Controlo de Qualidade de dois Métodos de Análise Química de águas residuais, Universidade de Évora, Évora.

Bruce, F.E. (1958). History of Technology, Vol. 5, Claredon Press, Oxford.

Boaventura, R. (1987). Caracterização de águas e águas residuais – Indicadores de qualidade, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto.

Calvo, M.S. (1998). Aguas Residuales Urbanas – Tratamientos Naturales de Bajo Costo y Aprovechamiento, Ediciones Mundi-Prensa, 2ª.Ed.

Campina, M.; Teixeira, M.; Lucas, M.; Rosa, M. (2002). Previsão da capacidade de remoção de cianobactérias e cianotoxinas. ETA de Alcantarilha, Universidade do Minho, Braga.

Carinhas, B.; Silva, R. (2005). Efluentes Domésticos, UTAD, Vila Real.

Coelho, F. P.; Antunes, S. (2003). Tratamento de Lamas - Aplicação do sistema BABE na ampliação de ETAR para a remoção de nutrientes, *Tecnologias do Ambiente*, nº 55, Lisboa.

Costa, M.F.; Lima, A.M.; Santiago, M.F.; Pássaro, M.C. (1991). Tratamento de águas residuais urbanas - situação em Portugal, *V Encontro Nacional de Saneamento Básico*, Lisboa.

Cruz, L. P. (1999). Principais Técnicas de Tratamentos de águas residuais, Lisboa.

Droste, R. L. (1997). Theory and Practice of Water and Wastewater Treatment, John Willey & Sons, New York.

Diciopédia (2003). Porto Editora, Porto.

Dordio, A. (2002). Análise e Tratamento de Efluentes/tratamento de águas residuais – acetatos de apoio, Universidade de Évora, Évora.

Etan, A. D.; Clesceri, L.S.; Greenberg, A.E. (1998). Standard Methods for the Examinatios of Water and Wastewater, Washington, 20 th Edition.

Ferreira, W.; Sousa, J. (1998). Microbiologia, Edições Técnicas, Lisboa.

Fifield F.W.; Haines P. J. (1995). Environmental Analytical Chemistry, London. First Edition Janeiro: ABES.

Galvis, G. E Visscher, J.T. (1987). Filtración lenta en arena y pretratamiento. Seminario Internacional sobre Tecnología Simplificada para Potabilización de Agua. Cali, Colombia.

Gonçalves, J. e Leitão, J.P. (2001). Tratamento, transporte e deposição final de lamas de ETAR, Instituto Superior Técnico, Lisboa.

Hackner, T. (2003). Filtração por Membrana – A evolução da tecnologia de membranas, *Tecnologias do Ambiente,* nº 55, Lisboa.

Jacques, J.M. van de Worp. (2002). Water recycling and resource recovery in industry: Analysis, technologies and implementation. P. Lens et al.

Laboratório Nacional de Engenharia Civil. (1981). Tratamento de águas por Lagunagem, Lisboa.

Laboratório Nacional de Engenharia Civil. (1988). A influência das características hidráulicas do escoamento na eficiência depurativa de lagoas de estabilização, Lisboa.

Leray, G. (1990). Planeta Agua (Trad. D. Saurí, 1994). Terra, um planeta inabitável? - Da Antiguidade até os nossos dias, toda a trajectória poluidora da humanidade, Editores Liebmann, Barcelona.

Lucas, H., Coelho, M.R., Viriato, S.M., Sancho, R., Carapuça, M.F. (2001) Qualidade da água de processo no arranque da estação de tratamento de água (ETA) de Alcantarilha in Actas da Conferência Internacional sobre a água (IWC2001), Porto.

Machado, J.L. Água Subterrânea: uma visão histórica, Porto Alegre.

Marsalek, J. Jiménez-Cisneros, B.E., Malmquist, P.A., Karamouz, M., Goldenfum, J., Chocat, B. (2006). Urban Water Cycle processes and interactions, UNESCO, Paris.

Metcalf & Eddy. (1991). Wastewater Engineering – Treatment Disposal and Reuse, Mc Graw-Hill, New York, Third Edition.

Ministério da Educação. (2002). Manual de Segurança de Laboratórios Escolares. Distantia: Serviços e Produtos para a Aprendizagem à Distância, Lda.

Myers, S.D., Aasgaard, G.Fr. e Ratnaweera, H. (1996). Sistemas de Águas Residuais Urbanas. Um guia para não especialistas – Associação Europeia da Água, Universidade do Minho, Braga.

Morrison, R. T., Boyd, R. N. (1996). Química Orgânica, Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa, 13ª Edição.

Motta, M., Noëlle Pons, M., Riche, N., Vivier, H., Amaral, A. e Ferreira, E. (2003). Estudo do funcionamento de Estações de Tratamento de esgotos por análise de imagem: validações e estudo de caso – Vol.8, Recife.

Novais, J.M. (2000). Tecnologia Ambiental, Instituto Superior Técnico, Secção Folhas, Lisboa

Pedrosa, C.A. e Caetano, F.A. (2002). Águas Subterrâneas, Superintendência de Informação Hidrológicas (SIH), Brasília.

Peixoto, J. P. (1987). O Sistema Climático e as Bases Físicas do Clima, Lisboa.

Peres, J.A.S. (2007). Documentos fornecidos sobre Tratamento de Odores, Vila Real.

Pinto, A. (2005). Poluição da Água e do Solo, Vila Real de Trás-os-Montes e Alto Douro.

Rodier, J. (1976). L'analyse de l'eau, Dunot Tecnhique, Paris, 5ª Edition.

Rodier, J. (1998). Análisis de las aguas: aguas naturales, aguas residuales, agua de mar, Omega, Barcelona.

Rositano, J., Newcombe, G., Nicholson, B., Sztajnbok, P. (2001). Ozonation of Sawyer & MC Carty. (1994). Chemistry for Environmental Engineering, Mc Graw-Hill, New York, 4 th Edition.

Santos, A.S. (2005). Avaliação do desempenho de um filtro biológico percolador em diferentes meios suportes plásticos. Tese de Mestrado, Rio de Janeiro.

Sastre, E., et al. (1994). Resultados e Rendimentos do Tratamento das Águas residuais na Indústria Láctea in Via Láctea: *Revista de Lacticínios nº 11*, Lisboa.

Schama, Simon. (1996). Paisagem e Memória, Companhia das Letras, São Paulo.

Schultz, C.R. e Okun, D.A. (1984). Surface Water Treatment for Communities in Developing Countries, John Wiley & Sons, New York.

Schroeder, E.D e Tchobanoglous, G. (1990). Water and Wastwater Treatment. Addison Wesley, Reading, MA.

Silva, E.R. (1998). O curso da água na história: simbologia, moralidade e a gestão de recursos hídricos. Tese de Doutoramento, Fundação Oswaldo Cruz – Escola Nacional de Saúde, Brasil.

Silva, E. (1998). A Tecnologia Hidráulica e a Gestão Hídrica. Fundação Oswald Cruz, Escola Nacional de Saúde Pública – Tese de Doutoramento.

Skoog, West & Holler. (1996). Fundamentals of Analytical Chemistry. Saunders College Publishing, New York, 7th Edition.

Sociedade de Estudos e Tratamento de Águas. (2001). Projecto de Execução da ETAR de Alvito, Alvito.

Suess, J.M. (1982). Examination of Water for Pollution Control, Pergamon Press, New York, First Edition.

Sulplano. (1997). Projecto de Execução da Estação de Tratamento de Água Residual da Vila de Portel, Almada.

Tavares, J. M. F. (2003). Manutenção de Estações de Tratamento de Águas Residuais. Lisboa: Águas do Norte Alentejano – Águas de Portugal – Formação ETAR de Portalegre, Portalegre.

Teixeira, A. e Miranda, G. (2005). Diferentes tipos de tratamento de águas residuais, UTAD, Vila Real de Trás-os-Montes e Alto Douro.

Teles, M., Pinela, A. (2002). O Mercado dos Resíduos em Portugal, Associação de Empresas Para o Sector do Ambiente, Lisboa.

Vieira, P.F. e Weber, J. (1997). Gestão de recursos naturais renováveis e desenvolvimento. Novos desafios para a pesquisa ambiental, Cortez, São Paulo.

Vieira, P. (1997). Eco-Grafia do País Real, Observatório do Ambiente, Lisboa.

Sites Pesquisados:

1. Abastecimento. Consultado em 03 de Novembro de 2006: http://snirh.inag.pt/snirh/dados_sintese/abastecimento/origsup/origsup_int.html
2. Agentes patogénicos causadores de doenças profissionais ou do trabalho. Consultado em 03 de Novembro de 2006 em Índice Fundamental do Direito: http://www.dji.com.br/decretos/1999-003048/anexo_ii.htm
3. Água no Mundo. Consultado em 04 de Novembro de 2006 em SNIRH JÚNIOR: http://snirh.inag.pt/junior/index.php?menu=2.5
4. Água, um recurso finito de imensas potencialidades. Consultado em 05 de Novembro de 2006 em Young Reporters for the environment: http://www.youngreporters.org/article.php3?id_article=1163
5. Aguaciclo. (2001). Processos externos de tratamento. Consultado em 14 de Novembro de 2006: http://www.aguaciclo.pt/tproceso.htm
6. Águas Residuais. Consultado em 01 de Novembro de 2006 em Secretaria Regional do Ambiente e dos Recursos Naturais - Região autónoma da Madeira: http://www.gov-madeira.pt/sra/geomedia/balcaoverde/index
7. Breve História da Água. Consultado em 02 de Novembro de 2006 em Águas de Portugal: http://www.adp.pt/frontend/portugues/section.asp?ids=1&ida=22

8. Cruz, Luísa Paula Valente. Principais Técnicas de Tratamentos de Águas Residuais. Consultado em 05 de Dezembro de 2006: http://www.ipv.pt/millenium/ect7_lpvc.htm
9. Estação de Tratamento. Consultado em 07 de Dezembro de 2006 em Universidade da Água: http://www.uniagua.org.br/website/default.asp?tp=3&pag=tratamento.htm
10. ETAR de Bruxelas-Norte. Consultado em 15 de Dezembro de 2006 em Grundfos Portugal: http://www.grundfos.pt/web/homept.nsf/Webopslag/CAMO-6NQLBZ
11. História Antiga. Consultado em 21 de Dezembro de 2006 em Wikipédia: http://pt.wikipedia.org/wiki/Hist%C3%B3ria_Antiga
12. História da água. Consultado em 22 de Dezembro de 2006 em Aquapor Luságua: http://www.aquaporservicos.pt/index.php?headline=36&visual=1&menu=1&id_area=21
13. História das cidades. Consultado em 02 de Janeiro de 2007 em Wikipédia: http://pt.wikipedia.org/wiki/Hist%C3%B3ria_das_cidades
14. Jeménez, Vitor José Rodríguez. (2001). Reacciones biológicas: microrganismos. Consultado em 03 de Janeiro de 2006: http://www.terra.es/personal/forma_xxi/cono15.htm
15. Lagoas. Consultado em 03 de Janeiro de 2007: http://www.fec.unicamp.br/~vanys/lagoas.html
16. Legislação Nacional: diplomas de enquadramento. Consultado em 03 de Janeiro de 2007 em Instituto da Água: http://www.inag.pt/inag2004/port/divulga/legisla/l_nacional_01.html
17. Mundo da água. Consultado em 06 de Janeiro de 2007: http://www.mundodaagua.com/
18. O Ciclo Hidrológico. Consultado em 06 de Janeiro de 2007: http://www.meioambiente.pro.br/agua/guia/ociclo.htm
19. O Ciclo Hidrológico. Consultado em 06 de Janeiro de 2007: http://www.cptec.inpe.br/~ensinop/ciclo_hidrologico.htm
20. O sistema de numeração decimal tem história. Consultado em 08 de Janeiro de 2007: http://educar.sc.usp.br/matematica/let1.htm
21. Ramirez, F. (2007). El Agua Potable. Consultado em 12 de Janeiro de 2007: http://www.elaguapotable.com

22. Recursos Naturais. Consultado em 12 de Janeiro de 2007 em Ciências para Professores do Ensino Fundamental: http://educar.sc.usp.br/ciencias/recursos/agua.html
23. Ribeiro, Túlio; Airoldi, Rogério; Paterniani, José e Silva, Marcelo. (2005). Variação dos parâmetros físicos, químicos e biológicos da água em um sistema de irrigação localizada. Consultado em 14 de Janeiro de 2007 em Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental: http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1415-43662005000300001&script=sci_arttext&tlng=pt
24. Rossin, António Carlos. (1999-2006). Jar Test. Consultado em 14 de Janeiro de 2007 em Tratamento de Água: http://www.tratamentodeagua.com.br/a1/biblio/ensaio_analitico.php?cp=est&chave=5
25. Sistema de Informação Documental sobre Direito do Ambiente. Consultado em 17 de Janeiro de 2007: http://www.diramb.gov.pt
26. Tecnologias de Tratamento de Água utilizadas para cagece. Consultado em 18 de Janeiro de 2007 em Companhia de água e esgoto do Ceará: http://www.cagece.com.br/informacoestecnicas/agua/tecnologias_tratamento/
Teixeira, Rita d'Azevedo. Tecnologias de Tratamento de Águas Residuais Urbanas. Consultado em 18 de Janeiro de 2007 em Naturlink: http://www.naturlink.pt/canais/Artigo.asp?iArtigo=9539&iLingua=1
27. Tratamento. Consultado em 03 de Fevereiro de 2007 em EFASEC Ambiente, S.A. :http://etargelfa.no.sapo.pt/tratam.htm
28. Tratamento de Água. Consultado em 03 de Fevereiro de 2007 em CORSAN: http://www.corsan.com.br/sistemas/trat_agua.htm
29. Variáveis da qualidade das águas. Consultado em 07 de Fevereiro de 2007 em Portal do Governo do Estado de São Paulo: http://www.cetesb.sp.gov.br/Agua/rios/variaveis.asp
30. Wikipédia. Consultado em 12 de Fevereiro de 2007: http://pt.wikipedia.org/wiki/Esta%C3%A7%C3%A3o_de_tratamento_de_%C3%A1guas_residuais
31. Zimbres, E. Química da Água Subterrânea. Consultado em 12 de Fevereiro de 2007: http://www.meioambiente.pro.br/agua/guia/aguasubterranea.htm
32. 4º Congresso da Água. Consultado em 12 de Fevereiro de 2007: http://www.aprh.pt/congressoagua98/files/c_titulf.htm

33. (1997). Breve Historia del Agua. Consultado em 02 de Março de 2007 em ORSTOM, PHI/UNESCO: http://www.unesco.org.uy/phi/libros/histagua/tapa.html
34. (2002). Legislação Nacional – Resíduos. Consultado em 03 de Março de 2007 em CONFRAGI: http://www.confagri.pt/Ambiente/Legislacao/Residuos/Nacional/
35. (2002). Tratamento de Águas Residuais do rio Ave. Consultado em 07 de Março de 2007 em Tratave: http://www.tratave.pt/html/sidva.html
36. (2003). Compostagem de lamas. Consultado em 12 de Março de 2007 em Centro Vegetariano: http://www.centrovegetariano.org/index.php?article_id=234&PHPSESSID=f1889aaacca19e5b987460e451e3cb4d
37. (2003). Jar Test Procedure for precipitants, coagulants & flocculants. Consultado em 21 de Março de 2007 em Water Specialists Technologies LLC: http://www.waterspecialists.biz/html/jar_test.html
38. (2003). Relatório de uma visita de estudo. Consultado em 22 de Março de 2007 em Escola Secundária Manuel Cargaleiro: http://www.esec-fogueteiro.rcts.pt/Material/Discipli/Docdisc/Geog.htm
39. (2004). ETAR de Vila Real. Consultado em 23 de Março de 2007 em Lamego Hoje: http://images.google.pt/imgres?imgurl=http://www.lamegohoje.com/fotos/86/1549.JPG&imgrefurl=http://www.lamegohoje.com/index_access.asp%3FidEdicao%3D86%26id%3D3142%26idSeccao%3D580%26Action%3Dnoticia&h=133&w=200&sz=10&tbnid=UJ9G3hh4zhrDAM:&tbnh=65&tbnw=99&hl=pt-PT&start=1&prev=/images%3Fq%3DETAR%2B%252B%2BVila%2BReal%26svnum%3D10%26hl%3Dpt-PT%26lr%3D
40. (2005). A água e o desenvolvimento industrial. Consultado em 02 de Janeiro de 2007 em Águas do Algarve: http://images.google.pt/imgres?imgurl=http://www.aguasdoalgarve.pt/ada/imagem/fotos/filtros01.jpg&imgrefurl=http://www.aguasdoalgarve.pt/ada/pag/sistemas/agua/fPagSistemasAgua_Geral.aspx&h=138&w=250&sz=17&hl=pt-PT&start=3&tbnid=FhmGlg3GwSVfbM:&tbnh=61&tbnw=111&prev=/images%3Fq%3Dfiltros%2B%252B%2BETA%26svnum%3D10%26hl%3Dpt-PT
41. (2006). Ciclo Urbano da Água. Consultado em 05 de Dezembro de 2006 em Câmara Municipal de Torres Novas: http://www.cm-torresnovas.pt/das/AguasDivertidas/CicloUrbano/CicloUrbano.htm

42. (2006). Estação de Tratamento de Água. Consultado em 17 de Abril de 2007 em EMARP, Empresa Municipal de Águas e Resíduos de Portimão: http://www.emarp.pt/livroagua/aguaportimao/estacoesreserva/captacao/captacao.html
43. (2006). História da Água. Consultado em 24 de Novembro de 2006 em EMARP – Empresa Municipal de Águas e Resíduos de Portimão: http://www.emarp.pt/ambiente/livroagua/historiacronologia/historiacronologia.php
44. (2007). Tratamento da Água. Consultado em 09 de Abril de 2007: http://www.copasa.com.br/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?infoid=23&sid=98&tpl=printerview
45. (2007). Water Science for Schools. Consultado em 16 de Janeiro de 2007 em USGS Science for a chaging world: http://ga.water.usgs.gov/edu/
46. Consultado em 03 de Novembro de 2006 em Águas do Ave: http://www.aguasdoave.pt/home.php
47. Consultado em 19 de Janeiro de 2007 em Águas de Trás-os-Montes e Alto Douro: http://www.aguas-tmad.pt/index_intro.html
48. Consultado em 17 de Abril de 2007 em Infopédia, Porto Editora: http://www.infopedia.pt/que_newsletter.jsp?id=13.